



AUTOMAATTINEN VIANPAIKANNUS KYMENLAAKSON SÄHKÖVERKKO OY:N KESKIJÄNNITEJAKELUVERKOSSA

Antti Vuorenpää

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

VUORENPÄÄ, ANTTI:

Automaattinen vianpaikannus Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n keskijännitejakeluverkossa

Opinnäytetyö 53 sivua
Toukokuu 2014

Tämän opinnäytetyön tutkimuskohteena oli niin sanottuun reaktanssimenetelmään perustuva automaattinen vianpaikannusjärjestelmä. Tavoitteena oli ottaa kyseinen järjestelmä käyttöön Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n keskijännitejakeluverkossa ja korvata aiemmin käytössä ollut vikavirran suuruuden arviointimenetelmään perustunut vianpaikannusjärjestelmä.

Opinnäytetyö tehtiin Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n Käyttö ja rakennuttaminen -yksikölle, joka vastaa yhtiön noin sadantuhannen Kaakkois-Suomessa sijaitsevan asiakkaan sähkön jakelusta ja sähköverkon käyttötoiminnasta.

Viranomaisten niin kuin asiakkaidenkin esittämät kiristyvät vaatimukset aiheuttavat paineita sähkön toimitusvarmuuden parantamiseen ja vioista johtuvien jakelukeskeytysten vaikutusalueiden mahdollisimman tehokkaaseen rajaamiseen. Automaattinen vianpaikannus on yksi osakokonaisuus pyrittäessä vähentämään asiakkaille koituvia haittoja sähkön jakelun vikakeskeytyksistä.

Automaattisella vianpaikannuksella tarkoitetaan tässä yhteydessä järjestelmäkokonaisuutta, jonka tehtävänä on esittää käytönvalvojalle jakeluverkon vikakeskeytyksen aiheuttaneen vian fyysinen sijainti karttapohjalla. Järjestelmä muodostuu kolmesta pääkomponentista: sähköasemilla olevista suojareleistä, SCADA-käytönvalvontajärjestelmästä ja DMS-käytöntukijärjestelmästä. Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n keskijännitejakeluverkon teknisen toteutustavan ja käytössä olleiden järjestelmäkomponenttien takia tarkastelut rajattiin käsittelemään vain oikosulkuvikojen paikannusta.

Käyttöönotto aloitettiin selvittämällä reaktanssimenetelmän vaatimukset ja muutostöiden tarpeellisuus sähköasemakohtaisesti. Tulosten pohjalta toteutettiin muutostarpeet ja järjestelmän käyttöönotto kaikille niille sähköasemille, joihin oli tämän opinnäytetyön aloitushetkellä asennettu tarpeelliset laitteistokomponentit.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin käyttöönotettua reaktanssimenetelmään perustuva automaattinen vianpaikannusjärjestelmä Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n keskijännitejakeluverkossa.

Asiasanat: vianpaikannus, oikosulku, keskijänniteverkko, Kymenlaakson Sähköverkko Oy

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Electrical Power Engineering

VUORENPÄÄ, ANTTI:

Automatic Fault Location at Kymenlaakson Sähköverkko Ltd's Medium-voltage Distribution Network

Bachelor's thesis 53 pages

May 2014

The purpose of this thesis was to gather information about automatic fault location system based on a reactance method and deploy this system on Kymenlaakson Sähköverkko Ltd's medium-voltage distribution network. This system was to replace the existing automatic fault location system based on measuring the magnitude of short-circuit fault current.

This bachelor's thesis was commissioned by the Operation and Building Unit of Kymenlaakson Sähköverkko Ltd, which is a distribution network operator in Southeastern Finland. The company owns and operates a distribution network supplying electricity for almost 100 000 consumers.

Increasing demand for availability of electricity from consumers and officials has led to pressure for utilities to minimize outage times and areas affected. One way to meet these two goals is locating the faults efficiently, for example by automatic fault location. The term automatic fault location is used to describe a system, the purpose of which is to determine the physical location of a fault and present this information to the operating personnel on a map.

The automatic fault location system is based on three main components: protective relays at the substation, SCADA Supervisory Control and Data Acquisition system and DMS Distribution Management System. Due to technical aspects of Kymenlaakson Sähköverkko Ltd's medium-voltage distribution network and due to the components used in the fault location system, the subject of this thesis was outlined to consider only short-circuit faults.

The system deployment was started by determining requirements posed by the reactance method and if any alteration work had to be done. Based on the findings, work was carried out to make the necessary alterations and system deployment within all the substations where necessary system components had been installed by the outset of this thesis.

On the basis of this thesis an automatic fault location system was successfully deployed at Kymenlaakson Sähköverkko Ltd's medium-voltage distribution network.

Key words: fault location, short circuit, medium-voltage, Kymenlaakson Sähköverkko Ltd

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	KYMENLAAKSON SÄHKÖVERKKO OY	9
2.1	Jakeluverkkoalue	9
2.2	Organisaatio	10
2.3	Käyttötoiminta ja käyttökeskus	11
3	KSOY-V:N KESKIJÄNNITEJAKELUVERKKO	13
3.1	Yleiset tiedot	13
3.2	Verkon käyttötapa ja sammutus.....	14
3.3	Sähköasema-automaatio	14
3.4	Merkittävät sähkön tuotantolaitokset.....	14
4	SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄN OIKOSULKU, MALLINNUS JA VIKOJEN PAIKANNUS	15
4.1	Oikosulun määritelmä ja ominaisuudet	15
4.2	Siirtojohtojen matemaattinen mallintaminen.....	16
4.3	Vianpaikannus ja automaattinen vianpaikannus.....	19
5	KSOY-V AUTOMAATTINEN VIANPAIKANNUSJÄRJESTELMÄ.....	22
5.1	Tehtävän määrittely ja alkutiedot	22
5.2	Järjestelmäarkkitehtuuri.....	23
5.2.1	Yleiset linjaukset.....	25
5.2.2	VAMP 255 suojarele ja oikosulkuvikojen paikannusalgoritmi	25
5.2.3	Netcontrol Netcon3000 SCADA -käytönvalvontajärjestelmä	30
5.2.4	Tekla DMS -käytöntukijärjestelmä	33
5.3	Selvitystyöt järjestelmän käyttöönnotosta	37
5.3.1	Yhteenveto DMS:n muutostarpeista	38
5.3.2	Yhteenveto SCADA:n muutostarpeista	38
5.3.3	Yhteenveto VAMP 255 asennusten muutostarpeista.....	38
5.3.4	Paikannusalgoritmin toiminnan rajoitukset.....	40
5.4	Järjestelmän käyttöönotto	41
5.4.1	Laskentapiste.....	42
5.4.2	Johdotusmuutokset.....	42
5.4.3	DMS:n muutokset	43
5.4.4	SCADA:n muutokset	43
5.4.5	VAMP 255:n muutokset	43
5.4.6	Laskentapiste syöttökentässä	44
5.4.7	Laskentapiste lähtökentässä	46
5.4.8	Järjestelmän koestukset.....	46

5.5 Järjestelmän luotettavuuteen vaikuttavat asiat.....	49
5.5.1 Mittausvirheet	49
5.5.2 Tiedonsiirtovirheet	50
5.5.3 Verkostotietovirheet	50
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	51
LÄHTEET.....	52

LYHENTEET JA TERMIT

DMS	Distribution Management System, käytöntukijärjestelmä
KJ	keskijännite
KSOY	Kymenlaakson Sähkö Oy
KSOY-V	Kymenlaakson Sähköverkko Oy
NSS	Nematic Switch Statistics
PJ	pienjännite
SA	sähköasema
SCADA	Supervisory Control And Data Aquisition, käytönvalvonta-järjestelmä

1 JOHDANTO

Yhtenä 2000-luvun alun julkisen keskustelun aiheena on ollut sähkön jakelun toimivuus. Viranomaisten niin kuin asiakkaidenkin esittämät kiristyvät vaatimukset aiheuttavat paineita sähkön toimitusvarmuuden parantamiseen ja vioista johtuvien jakelukeskeytysten vaikutusalueiden mahdollisimman tehokkaaseen rajaamiseen.

Automaattinen vianpaikannus on yksi osakokonaisuus pyrittäessä vähentämään asiakkaille koituvia haittoja sähkön jakelun vikakeskeytyksistä. Järjestelmän tarjoama hyöty on jakeluverkon vikojen nopeampi rajausta ja selvitys - käytännössä siis sähköjen nopeampi palauttaminen verkon terveisiin osiin, ja mahdollisuus korjaustoimenpiteiden tehokkaaseen kohdentamiseen.

Investointi uuden sukupolven prosessoripohjaisiin suojaareleisiin on mahdollistanut Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n keskijännitejakeluverkossa uusien, entistä tarkempien, vianpaikannusalgoritmien käyttöönoton. Aiemmin käytössä ollut automaattinen vianpaikannusjärjestelmä perustui vikavirran suuruuden arviointimenetelmään. Vikatilanteissa sähköaseman syöttökentän suojaarele mittasi vikavirran alkutilanteen suuruusluokan, jonka jälkeen mittaustieto välitettiin käytöntukijärjestelmälle. Käytöntukijärjestelmä vertasi saatuja mittauservoja verkostolaskennan laskemiin vikavirta-arvoihin jakeluverkon eri pisteissä. Vertailun pohjalta järjestelmä esitti käytönvalvojalle vian potentiaalliset sijainnit karttapohjalla.

Hyvin samankaltaista toimintalogiikkaa tullaan hyödyntämään tässä opinnäytetyössä käyttöönotettavassa järjestelmäkokonaisuudessa. Merkittävin ero kuitenkin ollen se, että sähköasemalla olevat suojaareleet eivät ainoastaan mittaa vikatilanteiden sähköisiä suureita, vaan suorittavat myös mittauservojen prosessointia tietyn paikannusalgoritmin avulla. Lopputulokset siirretään - kuten aiemminkin - ylemmälle järjestelmäportaalle jatkoprosessointia varten.

Mittaustulosten prosessointi sähköasematasolla parantaa vianpaikannusjärjestelmän tarkkuutta. Toimimalla näin vältetään joutumasta arvioimaan paikannukseen liittyviä eräitä muuttujia (esimerkiksi vikaresistanssi). Reaktanssimenetelmään perustuvan pai-

kannusalgoritmin tuottama tulos on vian paikkaa edustava reaktanssiohmiluku, jota voidaan suoraan verrata verkkotietojärjestelmän sisältämiin verkoston johdintietoihin.

Aiemmin on ollut mahdollista saada tarkkoja mittaustietoja verkon häiriötilanteista esimerkiksi häiriötallenninlaitteilla. Haasteet tiedonsiirron tarkoituksenmukaisesta järjestämisestä ovat kuitenkin olleet suuria pääasiassa johtuen siirrettävän datan suuresta määrästä. Tästä syystä Suomessa toimivilla jakeluverkkoyhtiöillä automaattiset vianpaikannusjärjestelmät eivät yleensä ole toteutettu perustuen häiriötallentimilla kerättyihin tietoihin.

Tämän opinnäytetyön ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää Kymenlaakson Sähköverkko Oy:llä käytössä olleen automaattisen vianpaikannusjärjestelmän järjestelmäkomponenttien tarjoamat mahdollisuudet siirtyä käyttämään VAMP 255 suojareiden tarjoamaa reaktanssimenetelmään perustuvaa paikannusalgoritmia. Toisena tavoitteena oli toteuttaa järjestelmän käyttöönotto, niin hyvin kuin se käytössä olleiden resurssien puitteissa oli mahdollista. Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n keskijännitejakeluverkon teknisen toteutustavan ja käytössä olleiden järjestelmäkomponenttien takia tarkastelut rajattiin käsittelemään vain oikosulkuvikojen paikannusta.

Työ on jaettu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osuudessa on esitetty lyhyesti taustatietoja Kymenlaakson Sähköverkko Oy:stä ja yrityksen hallinnassa olevasta keskijännitejakeluverkosta. Toinen osuus taustoittaa lyhyesti sähköjakelujärjestelmien oikosulkuvikojen, siirtojohtojen matemaattista mallintamista ja vianpaikannusta sekä vianpaikannusjärjestelmiä.

Viimeinen, kolmas osuus, käsittelee Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n automaattista vianpaikannusjärjestelmää esitellen järjestelmän arkkitehtuuria, käytössä olevia laitteisto- ja järjestelmäkomponentteja. Lisäksi käsitellään käyttöönotossa ja järjestelmän luotettavuuden tarkastelussa ilmi tulleita asioita ja ehdotetaan selvityskohteita järjestelmän toiminnan kehittämiseksi.

2 KYMENLAAKSON SÄHKÖVERKKO OY

Kymenlaakson Sähköverkko Oy (myöhemmin KSOY-V) on Kaakkois-Suomessa sähkömarkkinalain 9.8.2013/588 kolmannen pykälän määrittelemää luvanvaraista sähköverkkoliiketoimintaa harjoittava yritys.

Vuoden 2007 alusta lähtien suurimpien sähköyhtiöiden on tullut eriyttää sähköverkkotoiminta ja sähkön myynti erillisiin yrityksiin. (TEM 2014) Tästä syystä Kymenlaakson Sähkö on toiminut vuodesta 2007 alkaen konsernina, jonka emoyhtiönä toimii Kymenlaakson Sähkö Oy. KSOY-V on Kymenlaakson Sähkö Oy:n kokonaan omistama tytäryhtiö ja vastaa konsernin sähköverkkoliiketoiminnasta. (Kymenlaakson Sähkö Oy: Toimintaohje 4.1-1 2013)

Sähköverkkoliiketoimintaan kuuluvat sähköverkon suunnittelu, rakentaminen, ylläpito ja käyttö, verkon käyttäjien sähkölaitteiden liittäminen sähköverkkoon, sähkön mittaus, asiakaspalvelu sekä muut sähkön siirtoon tai jakeluun liittyvät toimenpiteet, jotka ovat tarpeen yrityksen hallinnassa olevassa sähköverkossa tapahtuvaa sähkön siirtoa tai jakelua varten. (Sähkömarkkinalaki 2013, 3 §)

2.1 Jakeluverkkoalue

Jakeluverkkohaltijan verkkolupaan liittyy maantieteellinen vastuualue, jolla verkonhaltijalla on yksinoikeus rakentaa jakeluverkkoa. Haltija vastaa sähköverkon kunnosta ja asiakkaille toimitettavan sähkön laadusta. Asiakkaat eivät voi kilpailuttaa eri verkonhaltijoita. (Elovaara & Haarla 2011, 58) KSOY-V hallitsema jakeluverkko ja siten myös vastuualue, ulottuu neljän maakunnan alueelle (kuvio 1): Kymenlaakso, Etelä-Karjala, Uusimaa ja Päijät-Häme.

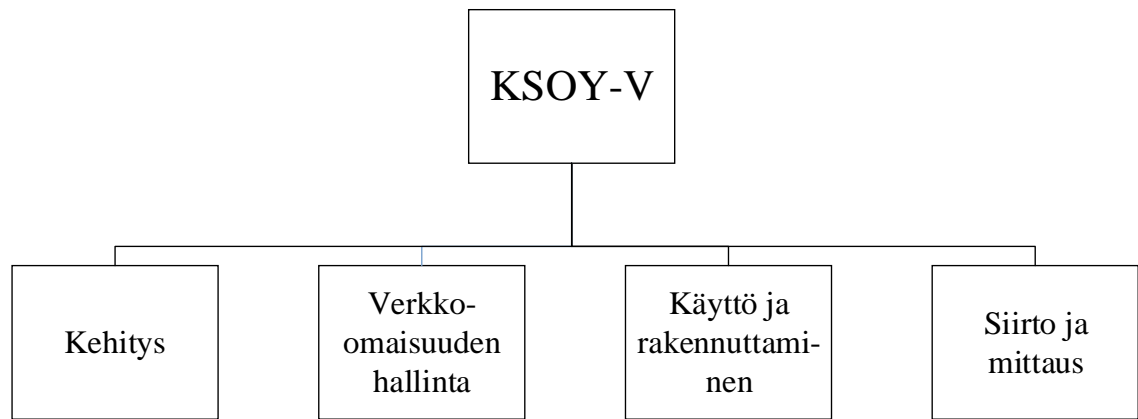


KUVIO 1. KSOY-V:n jakeluverkkoalue (Kymenlaakson Sähkö Oy: Yhtiöesittely 2013)

KSOY-V:n keskustoimipaikkana toimii Elimäen kaupunginosa Kouvolassa, jossa sijaitsevat käyttökeskus ja merkittävä osa muista yhtiön yksiköiden toiminnoista. Vuoden 2013 liikevaihto oli 49,1 miljoonaa euroa ja henkilöstön määrä noin 37. (Kymenlaakson Sähkö Oy: Vuosikertomus 2013)

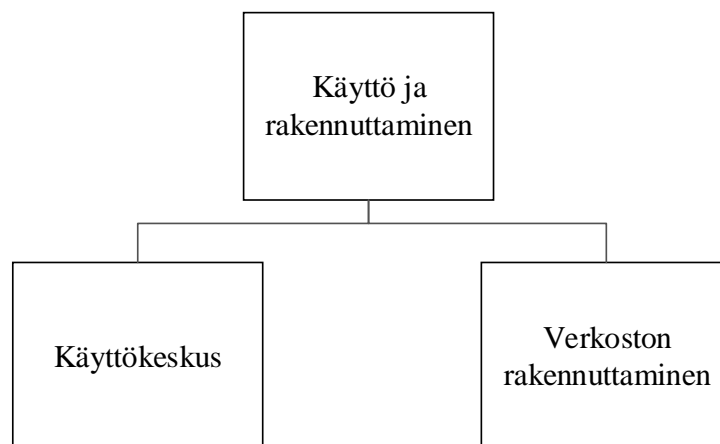
2.2 Organisaatio

Toiminta yrityksessä on organisoitu neljään eri yksikköön (kuvio 2): Kehitys, Verkko-omaisuuden hallinta, Käyttö- ja rakennuttaminen, Siirto ja mittaus. Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Käyttö ja rakennuttaminen -yksikkö.



KUVIO 2. KSOY-V:n organisaatiorakenne

Käyttö ja rakennuttaminen -yksikkö jakautuu edelleen kahteen osaan (kuvio 3): Käyttökeskukseen ja Verkoston rakennuttamiseen. Käyttökeskus vastaa KSOY-V:n omistaman jakeluverkon käyttötoiminnasta.



KUVIO 3. Käyttö ja rakennuttaminen -yksikön rakenne

2.3 Käyttötoiminta ja käyttökeskus

Käyttötoiminnan tavoitteena on sähkön laadun, turvallisuuden, taloudellisuuden ja asiakaspalvelun ylläpito. Toiminnassa korostuu vastuu turvallisuudesta ja käyttövarmuudesta. (Lakervi & Partanen 2008, 231)

Lainsäädäntö asettaa ankaran vastuun työ- ja sähköturvallisuudesta verkonhaltijalle. Tästä syystä verkolla tehtäviin kytkentätoimenpiteisiin on saatava lupa käyttökeskukselta ennen toimeen ryhtymistä. Keskittämällä päätöksenteko yhteen pisteeseen on mahdollista saavuttaa toimintojen toteuttamiseen liittyvät vastuuvaateet. (Lakervi & Partanen 2008, 231)

Käyttökeskuksen tehtäviä ovat muun muassa: (Lakervi & Partanen 2008, 231)

- käyttötoimintojen suunnittelu,
- verkon tilan jatkuva seuranta ja ohjaus,
- häiriötilanteiden hallinta.

Häiriötilanteiden hallinta on yksi tärkeimmistä käyttökeskuksen työtehtävistä. Tämän opinnäytetyön tutkimuskohteena oleva automaattinen vianpaikannusjärjestelmä on yksi työkalu, jonka tarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa käyttökeskuksen henkilöstön toimintaa verkon vikatilanteissa.

3 KSOY-V:N KESKIJÄNNITEJAKELUVERKKO

3.1 Yleiset tiedot

KSOY-V:n jakeluverkko on tyypillinen niin sanotulle maaseutuverkkoyhtiölle. Keskimääräinen verkon pituus asiakasta kohde on yhtiön alueella 127 metriä. (Kymenlaakson Sähkö Oy: Vuosikertomus 2013)

Keskijännitejakeluverkko muodostuu 31 sähköasemasta, 37 päämuuntajasta ja 4 776 kilometristä keskijännitejohtoa. (Kymenlaakson Sähkö Oy: Vuosikertomus 2013) Suurin osa verkosta on rakennettu ilmajohtoista. Poikkeuksena tästä kuitenkin Kotkan kaupungin alue, joka on pääosin maakaapeloitu.

Taulukossa 1 on esitetty KSOY-V:n jakeluverkoston tunnuslukuja vuodelta 2013.

TAULUKKO 1. KSOY-V:n jakeluverkosto 2013 (Kymenlaakson Sähkö Oy: Vuosikertomus 2013; Kymenlaakson Sähkö Oy: Yritysesittely 2012)

KSOY-V jakeluverkoston tunnuslukuja 2013		
Sähköasemia	31	kpl
Päämuuntajia	37	kpl
Jakelumuuntamoita	4770	kpl
<u>Johtopituuksia</u>		
110 kV	236	km
10 - 20 kV	4 776	km
400 - 1000 V	7 954	km
Yhteensä	12 996	km
Asiakkaita	102 117	kpl
Verkkoa / asiakas	127	m

Keskijännitejakeluverkossa on käytössä kahta jännitetasoa: 10 kV ja 20 kV. Valtaosa verkosta on rakennettu käyttämällä 20 kV jännitetasoa. 10 kV jännitetaso on käytössä lähinnä Kotkan ja Karhulan alueilla.

3.2 Verkon käyttötapa ja sammutus

Normaaliolosuhteissa verkon käyttötapa on säteittäinen. Verkon fyysinen rakenne mahdollistaa kuitenkin monessa tapauksessa silmukoidun käytön. Tämä mahdollistaa johtosien syöttösuuntien muuttamisen - esimerkiksi häiriötilanteessa vika-alueen pienentämiseksi.

Suurimmalla osalla sähköasemista on käytössä maasulkuvirran kompensointijärjestelmä eli verkko on sammutettu. Poikkeuksena kuitenkin Kotkan kaupungin alue, jossa verkkoa ei ole sammutettu.

Verkon sammuttaminen pienentää maasulkuvirtoja ja näin parantaa turvallisuutta pienentäen maasulkujen aiheuttamia kosketusjännitteitä. Samalla maasulkujen aiheuttamat valokaaret sammuvat yleensä itsestään, ilman suojausautomaatiikalta vaadittavaa toimintaa. Tämä vähentää jälleenkytkentöjen määrää verkossa. (Lakervi & Partanen 2008, 189)

3.3 Sähköasema-automaatio

KSOY-V:n sähköasemat ovat rakennettu eri vuosikymmenillä ja sisältävät hyvin monentyyppisiä automaatoratkaisuja. Suurin osa sähköasemista on varustettu analogisella langoitetulla tiedonsiirtotekniikalla ja Landis+Gyr:n valmistamalla ala-asemalla. Uusissa ja saneeratuissa kohteissa on siirrytty käyttämään digitaalista tiedonsiirtoa, jolloin tiedonsiirtoväylänä toimii SPAbus -kenttäväylä ja ala-asemana Netcontrol Oy:n toimittama laitteistokokonaisuus.

3.4 Merkittävät sähkön tuotantolaitokset

Verkkoon kytkettyjä, tämän työn kannalta merkittäviä, tuotantolaitoksia on kahdella sähköasemalla: Pyhtäällä ja Neuvottomassa (Hamina). Pyhtäällä Klåsarön vesivoimalaitos on kytketty rinnankäyntiin saman kiskostoon kuin 110/20 kV päämuuntaja ja muut aseman johtolähdöt. Neuvottoman sähköasemaan on kytketty tuulivoimatuotantoa, jolla on kuitenkin käytössä oma 110/20 kV päämuuntaja.

4 SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄN OIKOSULKU, MALLINNUS JA VIKOJEN PAIKANNUS

4.1 Oikosulun määritelmä ja ominaisuudet

Sähköjakelujärjestelmässä oikosulku on järjestelmän kahden tai useamman erijännitteisen virtajohtimen välinen pieni-impedanssinen eristysvika. Eristysvian sattuessa yhden äärijohtimen ja nollajohtimen tai maan välille, kyseessä on maasulku. (Pöyhönen 1977, 30) Maasulku käsitetään oikosulkuun nähden omaksi erilliseksi vikatyypikseen.

Oikosulkuviat jakaantuvat kahteen päätyyppiin: symmetrisiin sekä epäsymmetrisiin vikoihin. Kolmivaiheinen oikosulku on symmetrinen vika, jolloin vian pääasialliset vaikutukset kohdistuvat kaikkiin vaiheisiin samanaikaisesti. (Elovaara & Haarla 2011, 166)

Kolmivaiheisessa sähköjakelujärjestelmässä suurimman vikavirran aiheuttaa vastukseton 3-vaiheinen oikosulku. Virran suuruus on usein 10 - 40 -kertainen nimellisvirtaan verrattuna. Tästä syystä suojausautomaatikan on katkaistava se tarpeeksi nopeasti, jotteivät järjestelmään kytketyt laitteet vaurioituisi. Suojausautomaatikan nopeasta toimimisesta johtuen oikosulkuvirta ei juuri koskaan ehdi saavuttaa jatkuvan tilan arvoa. (Elovaara & Haarla 2011, 170)

Oikosulkuvikojen luonteeseen kuuluu, että oikosulkupiirin impedanssi on pääasiassa induktiivinen. Tämä tarkoittaa, että piirissä kulkeva vikavirta on lähes puhdasta induktiivista loisivirtaa. Virta sisältää vaihto- sekä tasavirtakomponentin. Tasavirtakomponentti vaimenee järjestelmän ominaisuuksista johtuvan aikavakion mukaisesti ja sen suuruus riippuu jännitteen hetkellisarvosta oikosulun syntymishetkellä. (Elovaara & Haarla 2011, 171)

Vikavirta superponoituu eli kerrostuu järjestelmässä kulkevaan kuormitusvirtaan. Virran ollessa yleensä kuitenkin suurempi kuin kuormitusvirta, yleensä oletetaan oikosulkujen mallinnuslaskennassa, että tutkittava verkko on tyhjäkäynnissä. Tällöin kuormitusvirran arvo on nolla. (Elovaara & Haarla 2011, 171)

Vastaavaa oletusta ei voida kuitenkaan tehdä jakeluverkolla, koska verkko on lähes poikkeuksetta - normaalissa käyttötilanteessa - kuormitettuna. Kuormitusvirran vaikutus tulee ottaa huomioon oikosulkuvikojen laskentamallissa. (Hänninen, Lehtonen, Saunaho & Vähämäki 2005) Mikäli virtaa ei huomioida laskentamallissa voivat saadut tulokset olla ristiriidassa reaali maailman tilanteen kanssa, riippuen käyttöolosuhteista.

4.2 Siirtojohtojen matemaattinen mallintaminen

Sähkönjakelujärjestelmä muodostuu siirtojohdoista, muuntajista, generaattoreista ja kuormalaitteista. Tästä kokonaisuudesta käytetään nimitystä sähköverkko, ja sen tehtävänä on yhdistää sähköenergian tuotanto ja kulutus hyvällä hyötysuhteella. (Aura & Tonteri 1993, 70-73) Tuntemalla sähköverkon rakenne ja käytössä olevat komponentit voidaan muodostaa sijaiskytkentöjä, joilla on mahdollista matemaattisesti mallintaa verkon toimintaa. (Lakervi & Partanen 2008, 25)

Sijaiskytkennät kuvaavat sähköistä virtapiiriä likimääräisesti. Tästä syystä on arvioitava mallinnukseen käytettävän sijaiskytkentämallin mielekkyys tapauskohtaisesti. (Aura & Tonteri 1993, 73) Tämän opinnäytetyön aiheen kannalta on oleellista ymmärtää siirtojohtojen mallintaminen. Oikosulkuvian laskennallinen sijaintitieto määritetään hyväksikäyttämällä jakelujärjestelmän siirtojohtojen sijaiskytkentöjä.

Siirtojohdot voivat olla avojohtoja (paljaita tai päällysteisiä) tai kaapeleita, ja ne sisältävät resistanssia, induktanssia ja kapasitanssia. Sähköiset ominaisuudet määräytyvät käytössä olevien johtojen laadusta, rakenteesta ja käytössä olevasta jännitetasosta. (Aura & Tonteri 1993, 72)

Johtojen kokonaisresistanssi muodostuu johdinmateriaalin ominaisresistanssista ja pituudesta. Ominaisresistanssi on riippuvainen käytettävästä materiaalista ja poikkipinta-alasta. Kokonaisreaktanssi muodostuu johtimen rakenteesta ja johdinten ympärilleen muodostamasta magneettikentästä. (Aura & Tonteri 1993, 74)

Avojohtojilla kokonaisreaktanssi on pääasiassa riippuvainen magneettikentästä, johon vaikuttaa merkittävästi asennustyyppi. (Aura & Tonteri 1993, 74) Käytettäessä samaa

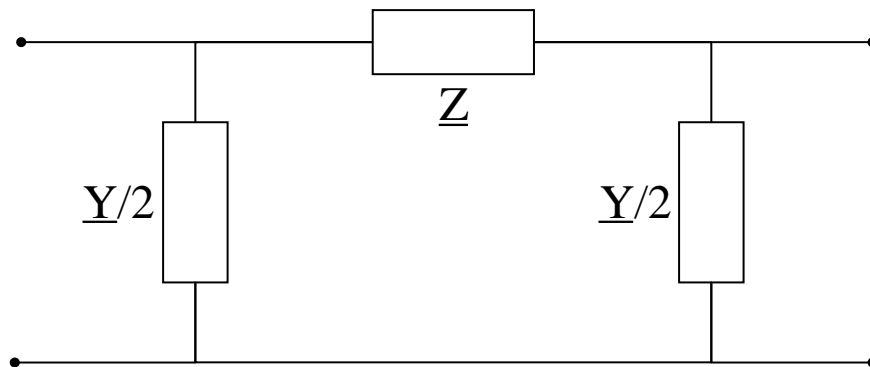
johdinta, mutta muuttamalla orsirakennetta (johtimien välistä etäisyyttä) reaktanssiarvo muuttuu. (Lakervi & Partanen 2008, 25)

Maakaapeleiden rakenne eroaa avojohdoista ja tämä aiheuttaa vastaavasti eroja ominaisarvoihin. Johdinten läheisyys toisiinsa nähden ja käytettävät eristeaineet muuttavat kokonaisreaktanssiarvoa sekä -suskeptanssiarvoa. (Elovaara & Haarla 2011, 99)

Yleensä siirtojohtoja kuvataan sijaiskytkennällä, joka muodostuu keskitetyistä ominaisuuksista. Malli on riittävän tarkka, kun johtojen pituus on alle 200 km ja käytössä oleva taajuus on 50 Hz. (Aura & Tonteri 1993, 73)

Eräs tällainen sijaiskytkentä on kuviossa 4 esitetty π -kytkentä. Kytkentä on yleisesti käytössä johtojen mallinnuksessa. (Elovaara & Haarla 2011, 98)

Huomionarvoista on, että yksittäisiä ominaisarvoja voidaan käyttää vain, mikäli mallinnettava siirtojohto on homogeeninen eli rakenteeltaan yhtenäinen. Mikäli siirtojohdon rakenne muuttuu tutkittavien pisteiden välillä, mallia on muutettava vastaamaan todellista tilannetta.



KUVIO 4. Siirtojohdon π -sijaiskytkentä (Aura & Tonteri 1993, muokattu)

Kuvion 4 sijaiskytkennän impedanssi \underline{Z} voidaan määrittää seuraavalla laskentakaavalla: (Aura & Tonteri 1993, 73)

$$\underline{Z} = (r + j\omega l) \cdot s = (r + jx) \cdot s = R + jX \quad (1)$$

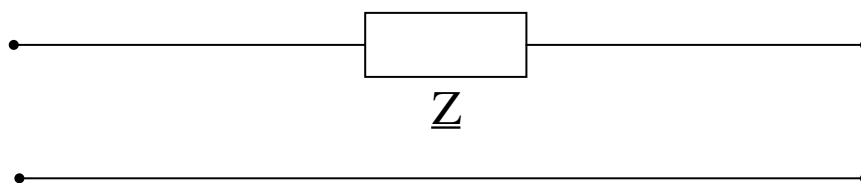
jossa r on johdon resistanssi pituusyksikköä kohden (Ω/km),
 l on johdon induktanssi pituusyksikköä kohden (H/km),
 s on johdon pituus (Ω/km),
 x on johdon reaktanssi pituusyksikköä kohden (Ω/km),
 R on johdon kokonaisresistanssi (Ω),
 X on johdon kokonaisreaktanssi (Ω).

Vastaavasti sijaiskytkennän admittanssi \underline{Y} voidaan määrittää seuraavalla laskentakaavalla: (Aura & Tonteri 1993, 74)

$$\underline{Y} = (g + j\omega c) \cdot s = (g + jb) \cdot s = G + jB \quad (2)$$

jossa g on johdon konduktanssi pituusyksikköä kohden (S/km),
 c on johdon kapasitanssi pituusyksikköä kohden (F/km),
 b on johdon susceptanssi pituusyksikköä kohden (S/km),
 G on johdon kokonaiskonduktanssi (S),
 B on johdon kokonaissusceptanssi (S).

Jännitetason ollessa alle 45 kV voidaan sijaiskytkennästä jättää pois admittanssit, jolloin kytkentä supistuu kuviossa 5 esitettyyn muotoon. Tätä yksinkertaistusta ei voida kuitenkaan tehdä mallinnettaessa maasta erotetun tai sammutetun verkon maasulkuja. (Elovaa-
 ra & Haarla 2011, 99)



KUVIO 5. Siirtojohdon yksinkertaistettu sijaiskytkentä (Aura & Tonteri 1993, muokattu)

Yksinkertaistuksesta huolimatta kuvion 5 sijaiskytkennän impedanssi \underline{Z} voidaan edelleen määrittää käyttämällä kaavaa 1.

4.3 Vianpaikannus ja automaattinen vianpaikannus

Vianpaikannus voidaan ajatella toimintaprosessiksi, jonka tarkoituksena on löytää jakeluverkon vikaantunut kohta mahdollisimman tarkasti ja nopeasti. Jakeluverkkojen vikatyypit voidaan jakaa sähköisten tyyppien - oikosulkujen ja maasulkujen - lisäksi myös niiden luonteen mukaisesti ohimeneviin ja pysyviin vikoihin. (Saha, Izykowski & Rosolowski 2010, 2-3)

Ilmajohdoista rakennetuilla jakeluverkoilla on tyypillisesti käytössä jälleenkytkentäautomatiikka, jonka tehtävänä on poistaa ns. ohimenevien vikojen (esimerkiksi salama tai eläinkontakti) aiheuttamat jakelukeskeytykset. Ilmajohdoverkkojen viat ovat pääasiassa ohimeneviä. (Saha ym. 2010, 3) Vastaavasti vikoja, joita jälleenkytkentäautomatiikka ei ole kyennyt poistamaan, kutsutaan pysyviksi vioiksi.

Suomessa perinteisesti verkon vikaantuneen osuuden paikannus on hoidettu rajaamalla vikakohta käyttämällä yritys-erehdys -menetelmää. Vikaantunutta johtolähtöä jaetaan osiin, kunnes voidaan todeta vian löytyvän tietyltä erotusväliltä. (Hänninen ym. 2005, 1) Mikäli johtolähdön jako osiin ei ole mahdollista tai se epäonnistuu, koko lähtö on sähköttömässä tilassa niin kauan kunnes kenttähenkilöstö on partioinut johdon lävitse, löytänyt ja poistanut vian aiheuttajan.

Nämä vianpaikannuksen perustana olevat rajaustoimenpiteet voivat olla aikaa vieviä, varsinkin jos kyseessä on pitkä johto-osuus ja erotinlaitteet ovat ohjattavissa vain paikallisesti. Rajaustoimintaan liittyvät kytkentäkokeilut aiheuttavat toistuvia rasituksia jakeluverkon komponentteihin. Tyypillisesti kytkentäkokeilun aikana katkaisijat, erotimet ja johtimet joutuvat toistuvasti tekemisiin vikavirtojen kanssa. (Hänninen ym. 2005, 1)

Toimintaprosessin kehittämiseksi on järkevää pyrkiä minimoimaan rajaustoimenpiteiden lukumäärä. Tähän tarpeeseen on kehitetty erityyppisiä teknisiä apuvälineitä, vianpaikantimia, joiden tehtävänä on tarjota käyttöhenkilöstölle (tai vianselvitysjärjestelmäl-

le, esim. FDIR) tarkempaa informaatiota vian fyysisestä sijainnista kuin mitä pelkästä suojarleen toiminnasta voidaan päätellä, ja näin helpottaa sekä nopeuttaa vianpaikannusprosessia. (Saha ym. 2010, 4)

Vianpaikantimet voivat olla esimerkiksi: (Saha ym. 2010, 2)

- prosessoripohjaisia suojarleitä,
- häiriötallentimia,
- itsenäisiä vianpaikantimia,
- vika-analyysiohjelmia.

Automaattinen vianpaikannus

Automaattinen vianpaikannus terminä mielletään yleensä käsittämään järjestelmäkokoaisuuksia, jotka jatkojalostavat edellä mainittujen vianpaikantimien tarjoaman informaation mahdollisimman käyttökelpoiseen muotoon. (Saha ym. 2010, 7)

Nämä järjestelmäkokoaisuudet voidaan jakaa neljään päätyyppiin vianpaikantimien teknisen toteutuksen perusteella: (Saha ym. 2010, 8)

1. perustaajusten jännite- ja virtatietokomponenttien käsittelyyn perustuviin teknologioihin,
2. etenevän aallon ilmiöön perustuviin teknologioihin,
3. suuritaajusten jännite- ja virtatietokomponenttien käsittelyyn perustuviin teknologioihin,
4. opittuun tietoon perustuviin teknologioihin.

Edellä mainituista toteutustavoista yleisin, ja yleensä yksinkertaisin käytännössä toteuttaa, on ensimmäinen, perustaajuisiin jännite- ja virtakomponenttien perustuvat teknologia. (Saha ym. 2010, 8)

Oikosulkuvikatilanteiden vikavirtojen ollessa yleensä huomattavasti suurempi kuin normaalitilanteen kuormitusvirta, vikojen havainnointi on suoraviivaista. Maasulkujen havainnointi ja paikannus on kuitenkin edelleen haastavaa, kun käytössä on maasta erotettu tai sammutettu verkko. Näillä verkkotyypeillä maasulkuvirrat ovat tyypillisesti pieniä ja maasulkutilanteen vikasuureiden havainnointi verkon normaalitilanteesta on vaikeaa.

Mielenkiinto maasulkujen paikannukseen on kuitenkin kasvanut mm. maakaapeloinnin yleistymisen takia. Tästä syystä tutkimus- ja kehitystyö on vilkastunut, ja onkin oletettavaa, että tulevaisuudessa on myös mahdollista paikallistaa maasulkuvikoja huomattavasti tarkemmin kuin nykyisillä teknologioilla on mahdollista.

5 KSOY-V AUTOMAATTINEN VIANPAIKANNUSJÄRJESTELMÄ

5.1 Tehtävän määrittely ja alkutiedot

Tämän opinnäytetyön ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää KSOY-V:llä käytössä olleen automaattisen vianpaikannusjärjestelmän järjestelmäkomponenttien tarjoamat mahdollisuudet siirtyä käyttämään VAMP 255 suoja-releiden tarjoamaa oikosulkuvikojen paikannusalgoritmia. Työn toisena tavoitteena oli toteuttaa järjestelmän käyttöönotto hyödyntäen jo olemassa olevia järjestelmäkomponentteja ja tähän opinnäytetyöhön varattujen aikatauluresursseja.

Tehtävä kokonaisuutena rajattiin koskemaan vain oikosulkuvikojen paikannusta. Alkutietoina oli, että VAMP 255:lla on mahdollista paikallistaa maasulkuvikoja sammutetussa verkossa, mutta muut käytettävät järjestelmäkomponentit eivät tukeneet tätä toiminnallisuutta suoraan. Lisäksi tieto siitä, että paikannus olisi käyttökelpoinen vain pieniohmisilla maasulkuvioilla, ei puolustanut maasulkuvikojen paikannusalgoritmin käyttöönottoa.

Käyttöönotto rajattiin koskemaan kaikkia niitä sähköasemia, joihin oli tämän opinnäytetyön aloitushetkellä asennettu VAMP 255 suoja-rele vähintäänkin aseman syöttökenttään. Opinnäytetyön aloitushetkellä tällaisia sähköasemia oli yhteensä 22 kappaletta. Näistä väyläpohjaisella tiedonsiirtoratkaisulla oli varustettu kahdeksan asemaa ja lopuissa käytössä oli langoitettu tiedonsiirtoratkaisu.

Alkutietoina oli myös, että VAMP 255:n oikosulkuvikojen paikannusalgoritmi oli ollut jo aiemmin käytössä yhdellä yhtiön sähköasemalla, mutta käyttöhenkilöstön kokemusten perusteella järjestelmän antamat paikannustiedot eivät olleet luotettavia.

Projekti jaettiin kahteen osaan: selvitystyöhön ja käyttöönottoon. Järjestelmän käyttöönotto suoritettiin selvitystyön tuloksena saatujen tietojen pohjalta sähköasema kerrallaan. Sähköasemilla tehtävistä työsuoritteista ja muiden järjestelmäkomponenttien asettelumuutoksista vastasi KSOY-V:n henkilöstö.

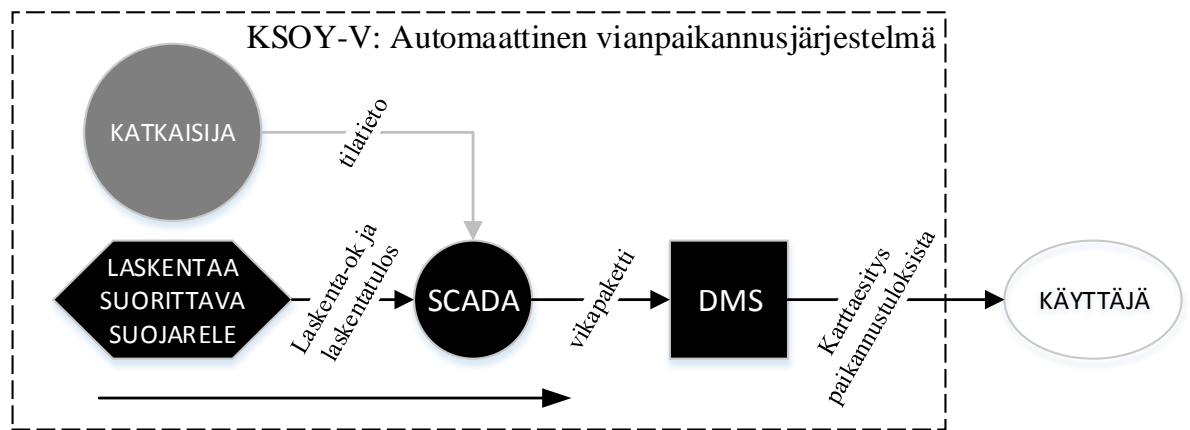
5.2 Järjestelmäarkkitehtuuri

KSOY-V:n automaattisen vianpaikannusjärjestelmän tehtävänä on esittää käytönvalvojalle jakeluverkon vikakeskeytyksen aiheuttaneen vian laskennallinen sijaintitieto karttapohjalla ilman käyttäjältä vaadittavia toimenpiteitä.

Järjestelmäkokonaisuus muodostuu kolmesta pääkomponentista:

1. VAMP 255 suojarileestä,
2. SCADA-käytönvalvontajärjestelmästä,
3. DMS-käyttötukijärjestelmästä.

Kuvio 6 esittää järjestelmän pääkomponenttien välistä tiedonsiirtoa yleisellä tasolla.

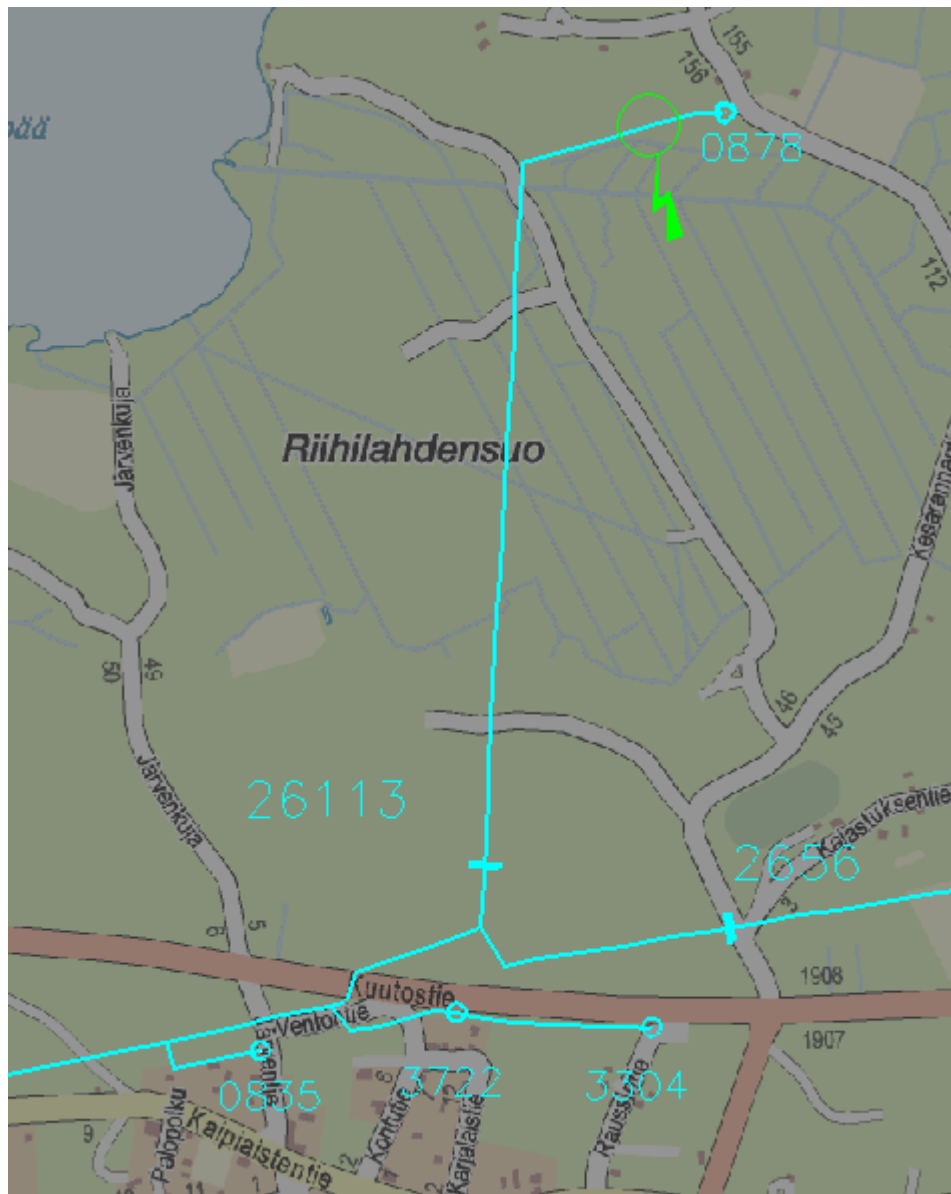


KUVIO 6. Automaattisen vianpaikannuksen tiedonsiirron yleinen vuokaavio

Oikosulkuvian tapahtuessa automaattisen vianpaikannusjärjestelmä toimintalogiikka on seuraava:

1. Vikaantuneen johtolähdön katkaisija aukeaa ja paikannuksesta vastaava VAMP 255 -suojarile muodostaa paikannusalgoritmin avulla vian sijaintia edustavan **laskentatuloksen**.
2. Tieto laskennan onnistumisesta, laskentatulos sekä vikaantuneen lähtökatkaisijan **tilatieto** välitetään sähköaseman ala-aseman avulla SCADA:lle.
3. SCADA muodostaa edellä saaduista tiedoista loogisen kokonaisuuden, **vikapaketin**.

4. Vikapaketti välitetään DMS:lle, joka muodostaa vian sijaintia edustavan **pai-**
kannustuloksen vertailemalla vikapaketissa saatua laskentatulosta ja verkosto-
tietoja keskenään.
5. Paikannustulos tai -tulokset esitetään käyttäjälle karttapohjalla (kuva 1).



KUVA 1. Tekla DMS -käytöntukijärjestelmän paikannustulos kartalla

Kuvassa 1 näkyvä salamasta ja ympyrästä muodostuva symboli tarkoittaa vian laskennallista sijaintia.

5.2.1 Yleiset linjaukset

Järjestelmäkokonaisuus haluttiin toteuttaa niin, että SCADA muodostaa vikapaketin vain jos määritellyt reunaehdot täyttyvät. Tähän ratkaisuun päädyttiin käytettävyyden takia.

Käyttäjän kannalta on tärkeää, että näytettävät tulokset ovat mahdollisimman luotettavia. Vikapaketit jotka eivät sisällä tarpeellista informaatiota tai sisältävä virheellistä informaatiota paikannustuloksen muodostamiseksi ovat niin sanottua turhaa kohinaa, jotka pahimmassa mahdollisessa tapauksessa häiritsevät käyttäjän toimia.

Vikapaketin muodostaminen voi estyä esimerkiksi jos: katkaisijalta ei saada tarvittavia tilatietoja, SCADA ei pysty yhdistämään ala-asemalta saatuja tietoja keskenään, rele ei pysty suorittamaan paikannusalgoritmia onnistuneesti tai tapahtuu jokin muu virheeksi tulkittava toiminto.

5.2.2 VAMP 255 suojarele ja oikosulkuvikojen paikannusalgoritmi

VAMP 255 suojarele (kuva 2) on prosessoripohjainen johtolähdön, tai vaihtoehtoisesti moottorin, suojaterminaali. Laite on kykenevä toimimaan erinäisissä jakeluverkon suojaustehtävissä sisältäen muun muassa oikosulku-, maasulku-, valokaari- ja katkaisijavikasuojaussovellukset.

Suojaussovellusten lisäksi laite tarjoaa erinäisiä aputoimintoja. Tämän opinnäytetyön kannalta merkittävin on oikosulkuvikojen paikannusalgoritmi. (VAMP Feeder Brochure: 230/245/255/257 Series)



KUVA 2. VAMP 255 suojarile (VAMP 255, VAMP Oy).

Releen toiminta perustuu digitaaliseen mittaustietojen käsittelyyn. Sähköaseman mittamuuntajilta tulevat virta- ja jännitesignaalit muunnetaan 16-bittisen analogia-digitaalimuunnoksen avulla sinimuotoisiksi signaalikomponenttien amplitudi- ja vaihetiedoiksi. (VAMP 255, VAMP 230: Feeder and Motor Manager 2014, 46)

Muunnos on toteutettu käyttämällä numeerista sovelletun nopean Fourier'n muunnoksen (FFT Fast Fourier Transformation) tekniikkaa. Saatuja amplitudi- ja vaihetietoja hyödyntämällä laite toteuttaa käyttäjän asettelemat suojaussovellukset ja aputoiminnot.

Tiedonsiirto releeltä ylemmille järjestelmäportaille voidaan toteuttaa käyttämällä langoitettua tai väyläratkaisua. Käytettäessä langoitettua ratkaisua tiedonsiirto on analogista ja väyläratkaisuissa digitaalista. Valitulla tiedonsiirtotavalla olla sovelluskohtaisesti merkitystä - kaikkea informaatiota ei ole mahdollista siirtää analogisena.

Relettä on saatavana kahdella prosessoriversiolla: ns. 6-sarjana ja ns. 10-sarjana. Käyttäjälle ilmeisempänä erona näiden kahden version välillä on releen ohjelmistoversio. Ohjelmistojen toiminnallisuudet ovat pääosiltaan yhtenevät lukuun ottamatta pieniä eroavaisuuksia aputoimintojen laajuudessa.

Oikosulkuvikojen paikannusalgoritmi

VAMP 255 sisältää itsenäisen oikosulkuvikojen paikannusalgoritmin, jolla on mahdollista paikallistaa oikosulkuvian sijainti säteittäisesti käytetyssä verkoissa. Paikannusalgoritmi antaa käyttäjälle vian etäisyyden reaktanssiarvona (ohmeja) tai matkana (kilometrejä). (VAMP 255, VAMP 230: Feeder and Motor Manager 2014, 197)

Matka on paikkansapitävä vain jos releen suojaama verkko on sähköisesti homogeeninen ja verkon johtimia kuvaava johdintietoasettelu on oikein. (VAMP 255, VAMP 230: Feeder and Motor Manager 2014, 197) Verkon ollessa heterogeeninen voidaan käyttää johdintietona verkkotiedoista laskettua keskiarvoa tai siirtää algoritmin tuottama reaktanssiarvo ylemmälle järjestelmälle jatkoprosessointia varten, esimerkiksi DMS-käyttöntukijärjestelmälle. (Kankaanpää 2005, 3)

Valmistajan mainitsema oletusarvoinen sovellustapa on ottaa paikannusalgoritmi käyttöön sähköaseman syöttökenttää suojaavassa releessä, jolloin koko sähköasemaa koskevat vianpaikannustiedot saadaan käyttämällä vain yhtä suojarelettä. Algoritmi on kuitenkin mahdollista ottaa käyttöön myös lähtökenttiä suojaavissa suojareleissä. (VAMP 255, VAMP 230: Feeder and Motor Manager 2014, 197)

Algoritmin toiminta perustuu perustaajusten virta- ja jännitekomponenttien käsittelyyn. Periaatteena on ratkaista verkon johdinten reaktanssi syöttöpisteestä vikakohtaan oikosulkuvikatilanteessa. (Kankaanpää 2005, 1) Tästä tekniikasta käytetään yleisesti nimitystä reaktanssimenetelmä.

Algoritmin oikean toiminnan edellytyksenä on, että verkko on säteittäisesti käytetty ja että rele pystyy mittaamaan kaikki vikatilanteeseen liittyvät sähköiset suureet. Käytännössä tämä tarkoittaa, että oikosulkutehon suunta on oltava yksiselitteinen ja releellä on saatavilla virta- ja jännitemittaustiedot kaikista vaiheista.

Oikosulkuvirta kerrostuu verkon normaaliin kuormitusvirtaan. Kuormitusvirta sisältää resistiivisen ja reaktiivisen komponentin. Ratkaistaessa oikosulkutilanteen reaktanssia kuormitusvirran reaktiivinen osuus vaikuttaa lopputulokseen. Algoritmi kompensoi kuormitusvirran vaikutuksen mittaamalla verkon kuormavirran (ja jännitteet) ennen ja jälkeen oikosulkuvikatilanteen. (Kankaanpää 2005, 1)

Algoritmi on toteutettu releeseen seuraavia suuntaviivoja noudattaen: (Hänninen ym. 2005, 3)

1. Vaihevirtojen ja -jännitteiden mittausta jatkuvasti
2. Reaktanssin laskenta käynnistetään, kun muutosvirta-asettelun ylitetään ja mahdollinen lukitusdigitaalisääntulo aktivoituu
3. Mitatuista vaihevirroista ja -jännitteistä muodostetaan tiedot kolmessa diskreetissä tilanteessa: ennen vikaa, vian aikana ja vian jälkeen
4. Vian aikaiset suureet lasketaan
5. Vaiheet joissa on suurin vikavirta, valitaan käytettäväksi laskennassa
6. Kuormitusvirrat kompensoidaan käyttämällä kaavoja 5 ja 6
7. Vian etäisyyttä edustava vikareaktanssi ratkaistaan käyttämällä kaavaa 7

Verkkoon kytkettyjen kuormien resistiivisen virran jänniteriippuvuus kompensoidaan seuraavalla funktiolla: (Hänninen ym. 2005, 2)

$$c_r \left(\frac{U_1}{U_2} \right) = \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^{Pu} \quad (3)$$

jossa U_1 on jännite vian aikana (V),
 U_2 on jännite ennen vikaa (V),
 Pu on pätötehuormitusten jänniteriippuvuutta mallintava kerroin.

Verkkoon kytkettyjen kuormien reaktiivisen virran jänniteriippuvuutta kompensoidaan seuraavalla funktiolla: (Hänninen ym. 2005, 2)

$$c_j \left(\frac{U_1}{U_2} \right) = \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^{Qu} \quad (4)$$

jossa Qu on loistehokuormitusten jänniteriippuvuutta mallintava kerroin.

Vikaantuneen vaiheen kuormituskompensoitu virta lasketaan seuraavasti: (Hänninen ym. 2005, 3)

$$\underline{I}_{L2} = \underline{I}_{L2}^{FLT} - c_r \left(\frac{\underline{U}_{L2}^{FLT} - \underline{U}_{L3}^{FLT}}{\underline{U}_{L2}^{PRE} - \underline{U}_{L3}^{PRE}} \right) \cdot \left(\frac{\underline{I}_1^{AFT}}{\underline{I}_1^{PRE}} \right) \cdot \underline{I}_{L2}^{PRE} - c_j \left(\frac{\underline{U}_{L2}^{FLT} - \underline{U}_{L3}^{FLT}}{\underline{U}_{L2}^{PRE} - \underline{U}_{L3}^{PRE}} \right) \cdot \left(\frac{\underline{I}_1^{PRE} - \underline{I}_1^{AFT}}{\underline{I}_1^{PRE}} \right) \cdot \underline{I}_{L2}^{PRE} \quad (5)$$

jossa \underline{I}_{L2} on toisen vaiheen kompensoitu virta vian aikana (A),
 \underline{I}_{L2}^{FLT} on mitattu vikavirta vian aikana (A),
 c_r on pätötehokuormien jänniteriippuvuuden korjausfunktio, joka on esitetty kaavassa 3,
 \underline{U}_{L2}^{FLT} on toisen vaiheen jännite vian aikana (V),
 \underline{U}_{L3}^{FLT} on kolmannen vaiheen jännite vian aikana (V),
 \underline{U}_{L2}^{PRE} on toisen vaiheen jännite ennen vikaa (V),
 \underline{U}_{L3}^{PRE} on kolmannen vaiheen jännite ennen vikaa (V),
 \underline{I}_1^{AFT} on myötaverkon virta vian jälkeen (A),
 \underline{I}_1^{PRE} on myötaverkon virta ennen vikaa (A),
 \underline{I}_{L2}^{PRE} on toisen vaiheen virta ennen vikaa (A),
 c_j on loistehokuormien jänniteriippuvuuden korjausfunktio, joka on esitetty kaavassa 4.

Vastaavasti toisen vikaantuneen vaiheen kuormituskompensoitu virta lasketaan seuraavasti: (Hänninen ym. 2005, 3)

$$\underline{I}_{L3} = \underline{I}_{L3}^{FLT} - c_r \left(\frac{\underline{U}_{L2}^{FLT} - \underline{U}_{L3}^{FLT}}{\underline{U}_{L2}^{PRE} - \underline{U}_{L3}^{PRE}} \right) \cdot \left(\frac{\underline{I}_1^{AFT}}{\underline{I}_1^{PRE}} \right) \cdot \underline{I}_{L3}^{PRE} - c_j \left(\frac{\underline{U}_{L2}^{FLT} - \underline{U}_{L3}^{FLT}}{\underline{U}_{L2}^{PRE} - \underline{U}_{L3}^{PRE}} \right) \cdot \left(\frac{\underline{I}_1^{PRE} - \underline{I}_1^{AFT}}{\underline{I}_1^{PRE}} \right) \cdot \underline{I}_{L3}^{PRE} \quad (6)$$

Oikosulkuvian sijaintia edustava reaktanssi ratkaistaan seuraavasti: (Hänninen ym. 2005, 3)

$$X = \text{img} \left(\frac{\underline{U}_{L2}^{FLT} - \underline{U}_{L3}^{FLT}}{\underline{I}_{L2} - \underline{I}_{L3}} \right) \quad (7)$$

jossa X on näennäinen myötaverkon reaktanssi syöttöpisteestä vikakohtaan (Ω).

5.2.3 Netcontrol Netcon3000 SCADA -käytönvalvontajärjestelmä

Netcon3000 SCADA on Netcontrol Oy:n valmistama ja markkinoima käytönvalvontajärjestelmä. Järjestelmän tehtävänä on toimia sähkönjakeluverkon reaaliaikaisena valvontajärjestelmänä toteuttaen seuraavat toiminnot: (Lakervi & Partanen 2008, 235)

- tapahtumatietojen hallinta,
- verkon kytkentätilanteen hallinta,
- kauko-ohjaukset,
- kaukomittaukset,
- kaukoasettelut,
- raportointi.

Kyseessä on prosessitietojärjestelmä, joka on tehokas tiedonkerääjä ja -välittäjä sähköasema- ja verkostokomponenttien, käyttäjän ja muiden käyttötoiminnan järjestelmien välillä. Järjestelmän kautta saadaan uusin reaaliaikainen tieto jakeluverkon tapahtumista, mittauksista ja kytkinlaitteiden tiloista. (Lakervi & Partanen 2008, 236-237)

SCADA:n tietokannoissa on kuvattuna sähköasemat sekä niiden laitteistot. Verkkojen kuvaus on yleensä yleisluontoista, eikä tarkkoja tietoja KJ- ja PJ-verkon komponenteista, asiakkaista tai kuormituksista ole dokumentoitu järjestelmään. (Lakervi & Partanen 2008, 236) KSOY-V:n tapauksessa tarkemmat komponentti-, kuormitus- ja asiakastiedot löytyvät DMS:stä ja muista asiakastietojärjestelmistä.

Tapahtumatietojen pohjalta SCADA:ssa ylläpidetään tietoa jakeluverkon kytkentätilasta. Tämä on tärkeä tieto käyttötoiminnan kannalta, mahdollistaen turvallisuuden kannalta kriittisen tilannetietoisuuden.

Toiminnallisuuksien määrittäminen

Netcon3000:ssa erilaiset toiminnallisuudet määritetään käyttämällä toimintalohkoja. Automaattisen vianpaikannuksen tapauksessa SCADA välittää DMS:lle niin sanotun vikapaketin, joka sisältää VAMP 255 suojareleeltä saadun paikannuslaskentatuloksen ja tiedon mitä lähtökatkaisijaa laskentatulos koskee.

Tiedonvaihto SCADA:n ja DMS:n välillä tapahtuu käyttämällä ELCOM-protokollaa. Protokolla ei alun perin ole tarkoitettu välittämään vianpaikannuksen kaltaista informaatiota, joten käytössä on järjestelmätoimittajien luoma oma epästandardi menetelmä. (Kuru & Wahlroos 2003, 3)

Vianpaikannuspaketin muodostamisesta ja lähettämisestä vastaa jokaiselle katkaisijalle ennalta määrätyn nimeämiskäytännön mukaisesti määritelty NSS-lohko (Nematic Switch Statistics). (Kuru & Wahlroos 2003; Ahponen & Ruissalmi 2006)

NSS-lohko

Netcon Switch Statistics

Tag Name: SA_114_J_05_Q01_V Next Block:

Description: 20kV J05 KYMI KATKAISIJA Q01

Station:

☐ Clear Counters on Reload and Startup

Input Tag Specifications

Switch Tag: SA_114_J_05_Q01

Load Current Tag: SA_114_J_05_I1.F

Tripping Tag: SA_114_J_04_FAU

Tripping2 Tag:

Starting Tag:

Reset Tag:

Earth Fault Tag:

Command Count Tag:

Delayed Auto-Reclose Tag:

Delayed Auto-Reclose delay in scan cycles: 50

Auto-Reclose Times

High-Speed (ss:hh): 00:01 <= t 01:00

Delayed (ss:hh): 118:00 <= t 122:00

Max time difference between Tripping and State Change (1/100 seconds): 800

Max scan cycles between receiving Tripping, State change and Load Current: 80

Communication delay in scan cycles: 50

Home Picture:

Load Current Detect (Cycles)

Before Event: 5

After Close: 10

After Open: 4

Weights

Tripping: 50,00

Close Load: 5,00

Close No Load: 1,00

Open Load: 5,00

Open No Load: 1,00

Event Sum:

Up / Event: 100000

Down / Cycle: 10000

Historical Collection

☐ Collect History

Collection Type: 0

Current Limit (A): 1,00

OK Cancel Page2

KUVA 3. NSS-lohkon määrittelyikkuna

Netcon3000:ssa NSS-lohko on niin sanottu toisiolohko, jonka tarkoituksena on ylläpitää tietoa katkaisijan tilasta ja päätellä saaduista signaaleista onko katkaisijan tilan muutos tapahtunut vian seurauksena. Toisiolohko tarkoittaa, että lohkon tehtävä on prosessoida tietoa muuttamatta alkuperäisiä arvoja. (Ahponen & Ruissalmi 2006, 4)

Mikäli määritellyt reunaehdot täyttyvät ja katkaisijan tilan muutos tulkitaan tapahtuneeksi vian seurauksena, muodostaa lohko vikapaketin ja välittää sen eteenpäin DMS:lle. (Ahponen & Ruissalmi 2006, 4)

NSS-lohkon tärkeimmät asetukset

Siirrettäessä reaktanssiarvoja vikapaketissa NSS-lohkoon on määriteltävä ainakin seuraavat tiedot:

- lohkon nimi (tag name),
- lähetetään vain reaktanssiarvoja -tieto (send fault reactance only),
- tietokantapisteet:
 - katkaisijan tilatiedon lukemiseksi (switch tag),
 - ”laskenta ok” -tilatiedon lukemiseksi,
 - reaktanssiarvon luennasta (fault current 1 tag).

Mikäli sähköasemalla on käytössä vain yksi VAMP 255 suojarele syöttökentässä ja releeltä halutaan saada koko asemaa koskevat laskentatulokset, tulee lohkon pystyä yhdistämään laskentatulos oikeaan lähtökatkaisijaan. Tämä tapahtuu tutkimalla lähtökatkaisijan aukeamisen ja ”laskenta ok” -tiedon muutoksen ajallista erotusta. Mikäli erotus on pienempi kuin määritelty, tulkitaan katkaisijan aukeaminen ja syöttökentän releeltä saatua laskentatulos liittyväksi toisiinsa.

Mikäli käytössä on VAMP 255 suojareleet lähtökentissä, voidaan vikapaketin muodostus tehdä pelkästään tutkimalla releeltä saatua ”laskenta ok” -tilatietoa, koska tulos liittyy varmasti vain kyseiseen lähtöön. Tämä toiminnallisuus voidaan toteuttaa käyttämällä NSS-lohkon ”starting tag” -asettelua.

5.2.4 Tekla DMS -käytöntukijärjestelmä

Tekla DMS on Tekla Oyj:n valmistama ja markkinoima käytöntukijärjestelmä. DMS -käytöntukijärjestelmä on ohjelmistokokonaisuus, jonka tarkoituksena on toteuttaa käytönvalvojan toimia ja päätöksentekoa tukevia tehtäviä. (Lakervi & Partanen 2008, 236)

Automaattisessa vianpaikannusjärjestelmässä DMS:n tehtävänä on olla käyttäjälle näkyvä käyttöliittymä järjestelmään, laskennallisen vian sijainnin tuottaja ja esittäjä käyttäjälle. Laskennallisesti vian mahdolliset sijainnit esitetään käyttäjälle karttanäkymässä (kuva 1).

Käytöntukijärjestelmään on dokumentoitu tiedot KSOY-V:n jakeluverkon komponenteista ja se sisältää myös tiedon verkon kulloisestakin kytkentätilanteesta, joka saadaan SCADA:lta. Siirtojohdot ovat mallinnettu järjestelmässä käyttämällä kuvioissa 4 ja 5 esitettyjen sijaiskytkentöjen periaatteita. (TEKLA Power System Analysis: Theory Guide 2012)

Vian sijaintitiedon muodostuslogiikka reaktanssimenetelmän yhteydessä

Tiedot verkon kytkentätilanteesta ja SCADA:lta saatu vikapaketti mahdollistavat VAMP 255:n oikosulkuvikojen paikannusalgoritmien tuottaman vian sähköisen etäisyyden muuttamisen fyysiseksi sijaintitiedoksi. Tällöin huomioidaan myös verkon mahdollinen heterogeenisyys, jolloin paikannuksen tarkkuus tulee olemaan tarkempi kuin mitä pelkästään releen tietoja käyttämällä olisi mahdollista.

Vian laskennallinen sijaintitieto muodostetaan ratkaisemalla johtolähdön piste, jossa galvaanisesti yhteenkytkettyjen johto-osuuksien reaktanssiarvo on sama kuin vianpaikannuspaketissa saatu arvo. Tämä tapahtuu iteroimalla johtolähdön oikosulkureaktanssiarvoa johtoalkio kerrallaan verkkomallin syöttöpisteestä alkaen kaavan 3 avulla: (TEKLA Power System Analysis: Theory Guide 2012, 74)

$$X_k = X_s + \sum l_i \cdot x_{1i} \quad (3)$$

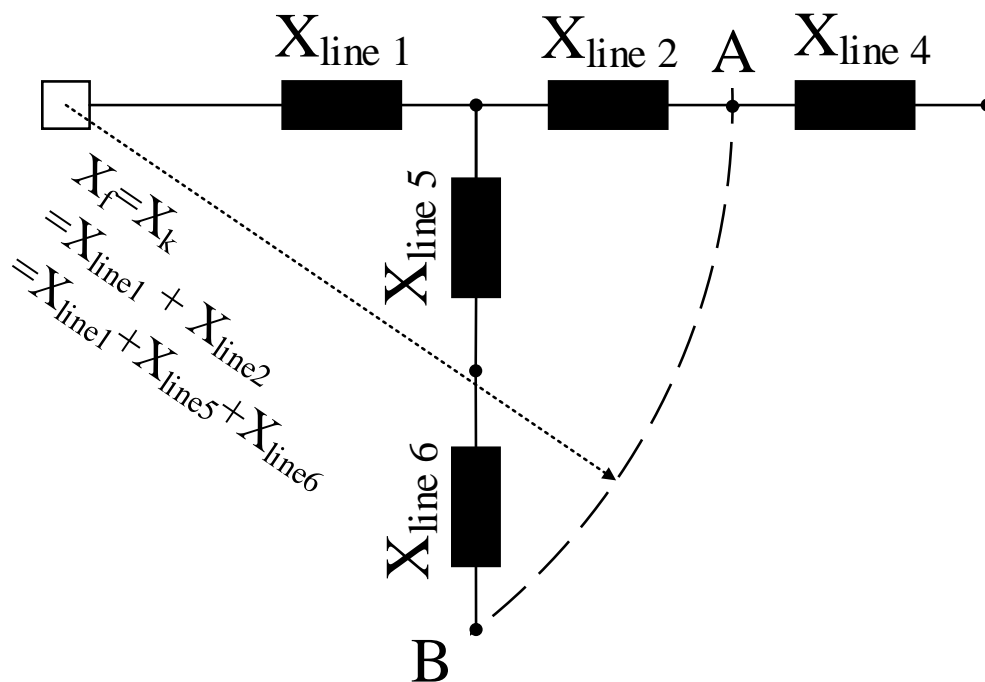
jossa X_k on verkon oikosulkureaktanssi etäisyydellä l_i (Ω),
 X_s on syöttävän verkon oikosulkureaktanssi (Ω),
 l_i on etäisyys verkon syöttöpisteestä (km),
 x_{1i} on johtimien myötäverkon reaktanssiarvo yksikköä kohden pisteessä l_i (Ω/km).

VAMP 255:n paikannusalgoritmilta saatava laskentatulokset edustaa johdinten reaktanssia releen mittauspisteestä vikakohtaan. Tällöin laskentakaava supistuu seuraavaan muotoon, koska syöttävän verkon oikosulkureaktanssia X_s ei tarvitse huomioida paikannuksessa:

$$X_k = \sum l_i \cdot x_{1i} \quad (4)$$

Toimintalogiikka muodostuu siis iteroimalla kaavan 4 yhtälöä, kunnes saavutetaan tilanne, jossa X_k on yhtä suuri kuin releeltä saatu laskentatulokset X_f . Verkon rakenteesta johtuen pisteitä, jossa ehto täyttyy voi olla useita (kuvio 7). Käytännössä tämä tarkoittaa, että käyttäjälle esitetään kaikki ne kohteet, joissa vian sijainti laskennallisesti on mahdollista.

DMS:n ei ole mahdollista karsia yksittäisiä sijainteja toisistaan ilman lisäinformaatiota. Tällöin vian todellisen sijainnin päättely jää käyttäjän tehtäväksi muilla tavoilla.



KUVIO 7. Sijainnin määrittämisen periaate (FLOC Fault locator: 1MRS755454 2005, 20 muokattu)

Ratkaisumahdollisuuksia vian todellisen sijainnin määrittämiseen on useita. Käyttämällä esimerkiksi paikallistuntemusta, kokeilemalla tai kytkemällä vikaantunut johtolähtö

toisen johtolähdön ja/tai sähköaseman syöttämäksi (tällöin on mahdollista saada lisäinformaatiota uuden vianpaikannuspaketin muodossa), on mahdollista tuottaa lisäinformaatiota ja rajata vaihtoehtoja.

Käyttöliittymä

Käyttäjälle DMS tarjoaa päiväkirjamaisen käyttöliittymän vianpaikannukseen (kuva 4). Käyttöliittymäikkuna sisältää tiedot saapuneista vikapaketeista. Yksittäinen vikapaketti sisältää informaation päivämäärästä, sähköasemasta, lähtökatkaisijasta ja reaktanssiarvosta. (TEKLA Xpower DMS 6.50 2007, 195)

Valitsemalla vikapaketti on mahdollista korostaa vian laskennalliset sijainnit karttapohjalla. Uuden vikapaketin saapuessa korostus tehdään automaattisesti, jos toiminnallisuus on asetuksista sallittu. (TEKLA Xpower DMS 6.50 2007, 195)

Päivämäärä	Asema	Lähtö	Arvo
23.04.2014 17:54:46	101 TÖN	MALLUSJOKI	5
23.04.2014 14:34:43	101 TÖN	ARTJÄRVI	10
22.04.2014 10:34:35	114 NEU	KYMI	2
21.04.2014 11:46:30	113 VIR	KATTILAINEN	5
20.04.2014 07:26:16	115 HAG	TESJOKI	1
20.04.2014 03:34:41	103 SUU	PITKÄKOSKI	3
20.04.2014 02:37:49	112 KAI	UTTI	6

KUVA 4. DMS vianpaikannuksen päiväkirjamainen käyttöliittymä

5.3 Selvitystyöt järjestelmän käyttöönotosta

Selvitystyöosuuden tarkoituksena oli hankkia tarpeellinen informaatio edellä kuvatun KSOY-V:n automaattisen vianpaikannusjärjestelmän käyttöönoton mahdollistamiseksi. Järjestelmäkokonaisuuden mahdollisimman hyvän toiminnan saavuttamiseksi oli tarpeen perehtyä kuhunkin yksittäiseen järjestelmäkomponenttiin.

Ensisijaisina tietolähteinä olivat erinäiset käyttöohjeet. Näiden lisäksi hyödynnettiin tiedonlähteinä järjestelmäkomponenttitoimittajien asiakaspalveluita, sähköasemien sähkökuvia ja -dokumentteja sekä käyttökeskuksen henkilöstöä.

VAMP 255:sta oli saatavilla valmistajan käyttöohje ja erillinen oikosulkuvikojen paikannusalgoritmin asetteluohje. Tekla DMS:n osalta tietolähteenä olivat TEKLA DMS: System User's Guide -käyttöohje ja Xpower DMS: Transfer of Fault Location Data via ELCOM -tekninen seloste. Netcontrol Netcon3000:n yhteydessä perehdyttiin NSS -lohkoa käsittelevään käyttöohjeeseen, Nematic Switch Statistics (NSS) Manual. Yksittäisistä sähköasemista mielenkiinnon kohteena olivat dokumentaatio käytettävästä tiedonsiirtomenetelmästä releen ja ala-aseman välillä sekä releelle tulevat signaalitiedot.

Selvitystyö aloitettiin muodostamalla tilannekuva kustakin sähköasemasta. Tässä yhteydessä kirjattiin ylös käytössä olevat releet, niiden ohjelmistoversiot sekä ala-aseman ja releen välisen tiedonsiirron toteutustapa. Samalla jokaisen releen ohjelmistoasettelut luettiin talteen käyttämällä sähköasemien huoltoliikennöintiverkkoa.

Kerätystä informaatiosta koostettiin KSOY-V:n käyttöön dokumentti, jossa on listattu VAMP 255:n oikosulkuvikojen paikannusalgoritmin käyttöönoton vaatimukset ja dokumentoitu järjestelmään liittyvät asetukset.

Seuraavat alakappaleet käsittelevät yhteenvetona mitä muutoksia tuli tehdä, jotta paikannusalgoritmi voitaisiin ottaa käyttöön. Samalla on käsitelty algoritmin toimintaa rajoittavia asioita.

5.3.1 Yhteenveto DMS:n muutostarpeista

Oletusasetuksilla Tekla DMS olettaa vikapaketin reaktanssiarvon sisältävän myös syötävää verkkoa mallintavat tiedot. (TEKLA DMS: System User's Guide 2012, 95) VAMP 255:n paikannusalgorithmi kuitenkin tuottaa laskentatuloksena vian sähköisen etäisyyden mittauspisteestä eteenpäin.

Paikannuksen oikean toiminnan kannalta on tärkeää muuttaa DMS:n asetukset huomioidaan tilanne. Tämä tapahtuu muuttamalla tietokanta-asetus `DmsFaultLocationOnlyXmv` arvoon 1 (YES) kaikille niille DMS-istunnoille, joiden oletetaan hyödyntävän vianpaikannusta. (TEKLA DMS: System User's Guide 2012, 95)

5.3.2 Yhteenveto SCADA:n muutostarpeista

Aiemmin käytössä olleen vikavirran suuruuden arviointimenetelmään perustuneen vianpaikannusjärjestelmän vikapakettien sisältämänä informaationa olivat vikavirtatiedot. VAMP 255:n paikannusalgorithmien tapauksessa siirrettävänä informaationa on algoritmin tuottama reaktanssiarvo.

Tästä syystä SCADA:n lohkoasetuksia tuli muuttaa niin, että vikapaketin sisältämänä informaationa oli reaktanssiarvo. Muutos tuli tehdä järjestelmään kaikille niille katkaisijoille, joista haluttiin reaktanssimenetelmää käyttävä vikapaketti DMS:lle.

5.3.3 Yhteenveto VAMP 255 asennusten muutostarpeista

Suurimmat muutostarpeet olivat sähköasemilla olevissa VAMP 255 releissä. Ohjelmistoasetteluita tutkimalla todettiin, että releet vaativat muutoksia johdotuksiin, asetteluihin sekä ohjelmistoversioihin.

Mittaustiedot (johdotukset)

Releen käyttöohjeen ja valmistajan asiakaspalvelun avulla selvitettiin, että seuraavat mittaustiedot ovat pakollisia oikosulkuvikojen paikannusalgoritmin oikean toiminnan kannalta:

- Virtamittaustiedot kaikista kolmesta vaiheesta,
- Jännitemittaustiedot kaikista kolmesta vaiheesta:
 - pää- tai vaihejännitteinä.

Lisäksi tuli varmistaa, että mittaustietojen vaiheistus oli oikein.

Tutkimalla releiden ohjelmistoasetteluita voitiin todeta, että lähes jokaisella sähköasemalla jännitemittaustiedot olivat puutteellisia. Mittaukset tuli muuttaa käyttöönoton yhteydessä vastaamaan algoritmin vaatimuksia.

Asettelut

Ohjelmistoasetteluissa tuli sallia oikosulkuvikojen paikannusalgoritmin toiminta, määrittää tarvittavat algoritmin toimintaan liittyvät asettelut ja tiedonsiirto ala-asemalle.

Langoitetuissa asennuksissa algoritmin laskentatulos piti asetella siirrettäväksi mA-viestinä. Väyläpohjaisissa asennuksissa tuli sallia laskentatuloksen lukeminen väylän avulla.

Ohjelmistoversiot

Käyttökeskuksen henkilöstön tietojen perusteella VAMP 255:n vanhemmissa ohjelmistoversioissa oli ollut ongelmia algoritmin toiminnassa. Valmistajan asiakaspalvelusta saatu julkaisuhistoria vahvisti asian.

Tästä syystä releet tuli päivittää uusimpaan mahdolliseen ohjelmistoversioon järjestelmän käyttöönoton yhteydessä. Vanhemmilla prosessorikorteilla varustetuissa malleissa tämä tarkoitti ohjelmistoversiota 6.93 ja uudemmilla ohjelmistoversiota 10.135.

5.3.4 Paikannusalgoritmin toiminnan rajoitukset

VAMP 255:n oikosulkuvikojen paikannusalgoritmin käytössä ja käyttöönotossa on otettava seuraavia asioita huomioon, jotta saavutetaan algoritmin tarkoituksenmukainen toiminta.

Suojausalue

Algoritmi on rajattu toimimaan vain, jos vika on suojausalueella. Suojausalue määräytyy releen laskeman tehon suunnan mukaan.

Releen kytkentä on oikea, kun lasketun tehon suunta on positiivinen normaalissa käyttötilanteessa. Normaali käyttötilanne tarkoittaa, että johtolähdöt syöttävät verkon kuormituksia ja kuormien tarvitsema teho otetaan sähköaseman päämuuntajalta. Mikäli releen jännite- ja virtamittaustiedoista laskema tehon suunta ei vastannut todellista tilannetta, tuli virtamittauksen johdotusta muuttaa käyttöönoton yhteydessä.

Normaalista poikkeavassa käyttötilanteessa paikannustietoa ei välttämättä ole saatavilla.

Tuotantolaitosten vaikutus

Algoritmia ei voida käyttää, jos releen suojausalueella verkkoon on kytketty rinnankyntiin merkittävää tuotantoa. Tuotantolaitoksen generaattorit syöttävät oikosulkuvirtaa vikatilanteessa ja tällöin oikosulkutehon suunta ei ole yksiselitteinen. Releen mitaamat suureet eivät edusta koko verkon tilannetta, jolloin paikannustuloksen ei ole mahdollista vastata vian sijaintia.

Vian stabiilius

Algoritmiin on määritetty reunaehdoja mitatuille virroille. Mikäli reunaehdot eivät täyty tulkitsee algoritmi vikatilanteen epävakaaaksi ja laskenta keskeytetään.

Seuraavien ehtojen tulee täyttyä:

- vikatilanteen tulee kestää vähintäänkin 60 ms,
- vikaa edeltävien mitattujen virtojen keskinäinen ero on enintään 4 %,
- vian aikana mitattujen virtojen keskinäinen ero on enintään 15 %,
- vian jälkeen mitattujen virtojen keskinäinen ero on enintään 4 %.

Minimikuormitus

Algoritmin toiminta vaatii, että mitattu releen toisiovirta on 50 mA tai yli vähintäänkin 500 ms ennen vikatilanteen alkua. Riippuen käytettävien virtamuuntajien nimellisestä toisiovirrasta tämä tarkoittaa, että paikannuslaskentaa suorittava rele on oltava vähintään 1 % kuormassa, kun käytössä 5 A nimellinen toisiovirta tai 5 % kuormassa, kun käytössä 1 A nimellinen toisiovirta.

5.4 Järjestelmän käyttöönotto

Järjestelmän käyttöönotto suoritettiin osana tätä opinnäytetyötä talvella 2013. Käytönotossa edettiin sähköasemakohtaisesti, jolloin suoritettiin selvitystyössä ilmi tulleet muutostarpeet.

KSOY-V:n sähköasemat ovat rakennettu eri vuosikymmeninä ja käytössä olevat sähköasemakomponentit vaihtelevat asemittain. Sähköasemakohtaiset järjestelmäkokonaisuudet voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin riippuen aseman suojarleistyksestä ja tiedonsiirtomenetelmistä:

1. Laskentaa suorittava suojarle syöttökentässä ja tiedonsiirto langoitettuna
2. Laskentaa suorittava suojarle syöttökentässä ja tiedonsiirto väyläratkaisuna (SPAbus)
3. Laskentaa suorittava suojarle lähtökentissä ja tiedonsiirto väyläratkaisuna (SPAbus)

Laskentaa suorittavalla releellä (laskentapisteellä) tarkoitetaan VAMP 255 suojarleettä, jossa on otettu käyttöön oikosulkuvikojen paikannusalgoritmi.

Suurin osa sähköasemista kuului tyyppiin yksi. Pääsääntöisesti nämä kohteet sisälsivät vanhemmalla prosessorisarjalla varustetun VAMP 255:n syöttökentässä ja lähtökentät olivat toteutettu muiden valmistajien suojarleillä.

Yleiset kaikkia kohteita koskeneet toimet ja päätökset ovat listattu tässä kappaleessa. Lisäksi alakappaleet käsittelevät laskentapistettä syöttökentässä ja lähtökentissä.

5.4.1 Laskentapiste

Paikannuslaskentaa suorittavaksi suojarleeksi valittiin oletusarvoisesti syöttökenttää suojaava laite. Tämä päätös tehtiin koska oli oletettavaa, että paikannusalgoritmin toimintaan liittyvä minimikuormitusvirtavaatimus täyttyy suurella todennäköisyydellä normaalissa käyttötilanteessa.

Ainut poikkeus tehtiin Pyhtään sähköasemalla, jossa paikannuslaskenta suorittavat lähtökenttiä suojaavat suojarleet. Syöttökentän suojarleen käyttö ei ollut mahdollista, sillä asemalla on kytketty päämuuntajan kanssa rinnankäyntiin Klåsarön vesivoimalaitos. Paikannusalgoritmin toiminnan edellytyksenä oleva oikosulkutehon syöttösuunnan yksiselitteisyys ei tässä tapauksessa täyttnyt.

5.4.2 Johdotusmuutokset

Suurimmalla osalla sähköasemista syöttökentän suojarleelle oli kytketty jännitemittaus, joka sisälsi ainoastaan päämuuntajan kahden navan välistä mitatun pääjännitteen. Käytönoton yhteydessä releille johdotettiin sähköaseman mittauskentästä vaihejännitemittaustieto.

Samassa yhteydessä tarkistettiin releen laskeman kolmivaihetehon suunta, mittaustietojen oikea vaiheistus ja mikäli käytössä oli langoitettu tiedonsiirtotekniikka myös mA-lähteyksen toimivuus. Mikäli puutteita havaittiin, muutettiin johdotus oikeaksi.

5.4.3 DMS:n muutokset

Käytössä oli sama ELCOM -tiedonsiirtomenetelmä DMS:n ja SCADA:n välillä kuin aiemmassa vikavirran suuruuden arviointimenetelmässä. Tästä syystä DMS ei vaatinut muita asettelumuutoksia kuin edellä mainitun reaktanssitietoon liittyvän tietokantamuutoksen.

Asettelumuutos otettiin käyttöön kaikilla DMS-istunnoilla. Aiemman järjestelmän käyttöönotossa toteutetut vikapaketteihin liittyvät ristiviittausasettelut voitiin hyödyntää sellaisenaan.

5.4.4 SCADA:n muutokset

Kaikkien niiden katkaisijoiden NSS-lohkot, joista haluttiin vianpaikannuspaketti, määriteltiin seuraavasti:

- ”laskenta ok” -tieto luetaan laskentaa suorittavalta releeltä (syöttö- tai lähtökenttä),
- lähetetään vain reaktanssiarvoja.

”Laskenta ok” -tiedon ja katkaisijan aukeamisen välisen aikaerotuksen maksimiarvoksi määritettiin kokeellisesti 12 s.

5.4.5 VAMP 255:n muutokset

Käyttöönoton yhteydessä suojarieleet päivitettiin käyttämään ohjelmistoversiota 6.93 tai 10.135 riippuen laitteen prosessoriversiosta.

Ohjelmistoasetteluissa sallittiin paikannusalgoritmin toiminta. Algoritmin toiminta edellytti seuraavien asetteluiden määrittämistä:

- liipaisuun tarvittava muutosvirta ΔI
- laskennan hyväksytty maksimitulos X_{\max}
- kuollut aika

Liipaisuun tarvittavaksi muutosvirraksi määritettiin 10 % kaikkiin releisiin, jotta algoritmin liipaisu varmasti tapahtuisi kaikissa oikosulkuvikatilanteissa.

Laskennan hyväksytyksi maksimitulokseksi määriteltiin kokeelliselta pohjalta 20 Ω :ia. Asettelun tarkoituksena on karsia ns. väärät laskentatulokset pois. Mikäli tulos on yli määritellyn, algoritmi tulkitsee vian olevan suojausalueen ulkopuolella. Riippuen siirtojohtojen rakenteesta valittu maksimiarvo tarkoittaa, että vian todellinen etäisyys voi olla maksimissaan noin 50 - 200 km.

Kuollut aika määrittää aikaikkunan, jonka välein algoritmi voidaan suorittaa uudestaan. Asetteluina käytettiin kahta vaihtoehtoa riippuen sähköasemalla käytössä olevasta alasemasta.

Ala-aseman tiedonsiirron suorituskyyky määritti käytettävän aika-asetuksen. Mikäli käytössä oli Netcontrol Oy:n toimittama ala-asema, kuolleeksi ajaksi määritettiin 10 sekuntia. Ala-aseman ollessa Landis+Gyr:n valmistama, aika määritettiin 70 sekuntiin.

5.4.6 Laskentapiste syöttökentässä

Laskentapisteen ollessa syöttökentässä käyttöönottoimenpiteet suoritettiin vain syöttökenttää suojaavalle VAMP 255:lle. Tällaisia kohteita oli 21 sähköasemaa.

Mikäli asemalla oli käytössä syöttökentän releelle ylivirtalukitustieto ($I>$ -lukitus) lähtökentiltä, tämä tieto aseteltiin paikannusalgoritmin lukitusdigitaalisääntuloksi. Ratkaisuun päädyttiin, jotta algoritmi toimii vain jos lähtökenttä on havahtunut viasta.

Mikäli lähtökenttä ei ole havahtunut vikaan SCADA ei pysty muodostamaan vikapaketia ja tällaisessa tilanteessa myös algoritmin toiminta on hyödytöntä.

Langoitetut asennukset

Langoitetuissa asennuksissa laskentatulos siirretään mA-viestinä ala-asemalle, joka välittää tiedon SCADA:lle. Releen mA-lähetysasetuksista korvattiin vikavirran lähetys paikannusalgoritmin tuottamalla laskentatuloksella, jolloin johdotuksia ei ollut tarvetta muuttaa.

Viestien skaalaukseksi aseteltiin 0 - 20 Ω välillä 0 - 10 mA, kun käytössä oli Landis+Gyr:n valmistama ala-asema. Mikäli käytössä oli Netcontrol Oy:n ala-asema, käytettiin skaalausta 0 - 20 Ω ja virta-asetusta 4 - 20 mA. Vastaavat skaalausasetukset toteutettiin myös SCADA:aan.

Langoitetuissa asennuksissa SCADA:n tarvitsema ”laskenta ok” -tieto välitetään kärkitietona. Jokaisessa asennuksessa yksi VAMP 255:n hälytysrelelähtö otettiin tähän käyttöön. Rele aseteltiin vetämään lähtö ylös, kun paikannusalgoritmi suoritetaan onnistuneesti. Ylöspidon kesto aika on releen valmistajan määrittämä viisi sekuntia.

Väyläpohjaiset asennukset

Väyläpohjaisissa asennuksissa tiedonsiirto tapahtuu käyttämällä SPAbus-kenttäväylää. Tiedonsiirto väylässä on tapahtumapohjaista. Tyypillisesti sähköaseman ala-asema toimii isäntälaitteena ja muut väylään kytketyt laitteet ovat orjia. Ala-asema käy tietyin väliajoin kysymässä orjilta tapahtumatiedot ja siirtää ne tiedonsiirtoketjussa ylöspäin SCADA:lle.

Näissä asennuksissa sallittiin paikannusalgoritmin onnistuneesta suorituksesta väylään välitettävät signaalitiedot.

5.4.7 Laskentapiste lähtökentässä

Laskentapisteen ollessa lähtökentässä jokaisen kentän rele suorittaa itsenäisesti vianpaikannusta. Tämän tyyppinen kokonaisuus otettiin käyttöön vain Pyhtään sähköasemalla, koska asemalla ei ollut mahdollista hyödyntää syöttökentän relettä.

Erot järjestelmän asetteluun eivät ole suuria verrattaessa syöttökentän releen käyttöön:

- ylimääräistä lukitustietoa ei ole käytössä
- laskentatuloksen ja katkaisijan yhdistäminen SCADA:ssa käyttäen ”starting tag”:ia

5.4.8 Järjestelmän koestukset

Käyttöönottovaiheen yhteydessä koestettiin vianpaikannusjärjestelmän toiminta kahdella sähköasemalla. Koestukset tehtiin alkuvuonna 2014.

Koestettavaksi sähköasemiksi valittiin Sippolan ja Taavetin sähköasemat. Asemat edustivat kahta eri tiedonsiirtomenetelmän päätyyppiä: langoitettua ja väyläpohjaista. Valintaan vaikutti myös asemien korvattavuus, jotta koestukset pystyttiin suorittamaan ilman jakelukeskeytyksiä asiakkaille.

Koestukset toteutettiin toisiokoestuksina. Uuden prosessorisarjan releille pystyttiin syöttämään vikatilanteiden mittausarvoja ohjelmallisesti käyttämällä releiden asetteluun tarkoitettua VAMPset-ohjelmistoa. Vanhemman prosessorisarjan releen yhteydessä koestus oli mahdollista toteuttaa ainoastaan käyttämällä erillistä toisiokoestuslaitteistoa, jolla on mahdollista luoda kolmivaiheisenä virta- ja jännitesignaalit.

Tavoitteena oli testata järjestelmän komponenttien välisen tiedonsiirron toimivuutta ja kokeilla kuinka järjestelmä toimii ääritilanteissa. Ääritilanteena voidaan pitää tilannetta, jossa sähköaseman kaksi lähtökatkaisijaa havahtuu vikaan lähes yhtäaikaisesti.

Laskentapisteen ollessa syöttökentässä SCADA:n ei ole mahdollista tietää kumpaa katkaisijaa laskentatulos koskee, jos katkaisijatoiminnot ovat tapahtuneet ajallisesti riittä-

vän lähekkäin. Tällaisessa tilanteessa DMS:lle välitetään kaksi vikapakettia samalla laskentatuloksella.

SA Sippola

Sippolan sähköaseman automaation tiedonsiirto on rakennettu käyttämällä langoitettua tiedonsiirtoa. Asemalla on käytössä yksi VAMP 255 suojarele, joka on asennettu suojaamaan syöttökenttää. Rele on vanhemman prosessorisarjan malli.

Aseman koestus tilattiin relekoestuksiin erikoistuneelta Micora Oy:ltä. Ratkaisu tehtiin siksi, että KSOY-V:llä ei ollut olemassa tarpeellista laitteistoa tehtävän suorittamiseksi.

Koestusasettelu koski syöttökenttää ja kahta lähtökenttää. Syöttökentän releen toisioon syötettiin Micora Oy:n koestuslaitteen luomat kolmivaiheiset jännite- ja virtasignaalit. Lähtökenttien suojareleisiin syötettiin yksivaiheisilla toisiokoestuslaitteilla virtasignaaleja, jotta saataisiin aikaan releen tekemä suojaustoiminto ja katkaisijan aukeaminen.

Koestuksen tarkoituksena oli mallintaa mahdollisimman tarkasti tilannetta, jossa lähtökentän rele havahtuu ylivirrasta ja suorittaa suojaustoiminnon. Samassa yhteydessä liipaistiin syöttökentän VAMP 255 suojareleen paikannusalgoritmi syöttämällä riittävän suuri vikavirtatieto releelle.

Lähtökentän releen avautumisen ja VAMP 255:n paikannusalgoritmin toimimisen jälkeen tapahtumatietojen tuli siirtyä oikein sähköasema-automaation avulla SCADA:lle, jonka tuli muodostaa vikapaketti ja siirtää tieto oikein DMS:lle.

Mielenkiinnon kohteena oli erityisesti hakea mahdollisia vikatilanteita. SCADA:n tuli muodostaa vikapaketti, vain jos releen paikannusalgoritmin toiminta oli onnistunut ja lähtökatkaisija oli auennut. Vikapaketin piti myös koskea oikeaa lähtökatkaisijaa.

Ensimmäiset yritykset epäonnistuivat sillä SCADA ei muodostanut vikapaketteja. Tämä johtui lohkoasetteluissa tapahtuneesta virheestä. Muutosten jälkeen todettiin, että tiedonsiirto järjestelmäkomponenttien välillä toimi asetellulla tavalla.

Todettiin myös, että kahden lähtökatkaisijan aukeaminen yhtäaikaaisesti aiheuttaa kahden vikapaketin muodostamisen, niin kuin oletettiin.

SA Taavetti

Taavetin sähköaseman automaation tiedonsiirto on rakennettu käyttämällä SPAbus-kenttäväylää. Asemalla on käytössä VAMP 255 suojarele jokaisessa syöttö- ja lähtökentässä.

Releet ovat uudemman prosessorisarjan malleja, jolloin koetus pystyttiin suorittamaan etäyhteyden avulla käyttämällä VAMPset-ohjelmistoa ja sähköaseman huoltoliikennöintiverkkoa.

Syöttökentän releelle syötettiin seuraava mittaustietosykli:

1. 500 verkkojaksoa (50 Hz) jännitteet nimellinen 20 kV ja virta n. 80 A per vaihe
2. 10 verkkojaksoa jännitteet n. 80 % nimellisestä ja virta 800 A per vaihe
3. 100 verkkojaksoa jännitteet nimellinen 20 kV ja virta n. 50 A per vaihe

Syöttämällä edellä mainittu sykli releelle saatiin paikannusalgorithmi liipaistua toimimaan. Vastaavanlainen sykli pienemmillä virta-arvoilla syötettiin myös yhden lähtökentän suojareleeseen, jotta SCADA:lle saataisiin tarvittava katkaisijatoimintotieto vianpaikannuspaketin muodostamiseksi.

Todettiin, että SCADA muodosti vikapaketin oikein ja releen laskentatulos siirtyi DMS:lle oikein.

5.5 Järjestelmän luotettavuuteen vaikuttavat asiat

Järjestelmän luotettavuuden tarkastelussa on tukeuduttu pääasiassa kirjallisuuslähteisiin. Käyttöönotto ja selvitystyöt veivät ennakoitua enemmän aikaa. Järjestelmän käyttöönoton jälkeen pysyviksi jääneitä ja luotettavasti paikallistettuja oikosulkuvikoja ei ilmennyt riittävän montaa merkityksellisen analyysin tekemiseksi.

Voidaan kuitenkin todeta käyttökeskuksen henkilöstön haastattelun pohjalta, että vianpaikannusjärjestelmän tarkkuus on parantunut verrattuna aiemmin käytössä olleeseen järjestelmäkokonaisuuteen nähden. Kokemusten perusteella suurimmassa osassa vikatapauksia vian todellinen sijainti on löytynyt järjestelmän osoittaman kaukokäyttöerotinlaitteiden rajaaman alueen sisältä.

VAMP 255 valmistajan omat materiaalit mainitsevat releen sisältämän algoritmin paikannustarkkuudeksi n. 2 - 5 %. (Hänninen ym. 2005; Kankaanpää 2005) Kyseiset materiaalit ovat luonteeltaan kuitenkin markkinointiin tarkoitettuja, joten niiden sisältämään informaatioon on hyvä suhtautua tältä osin varauksella.

Järjestelmän tarjoaman vianpaikannuksen luotettavuuden kannalta on tärkeää, että järjestelmäkomponenttien käytössä oleva informaatio on mahdollisimman tarkkaa. Virhelähteet voidaan jakaa karkeasti mittaus-, tiedonsiirto- ja verkostotietovirheisiin.

5.5.1 Mittausvirheet

Mittausvirheet koskevat käytännössä sähköasemalla olevaa VAMP 255:sta. Releelle tulevien mittaustietojen tarkkuus vaikuttaa algoritmin tuottaman laskentatuloksen tarkkuuteen.

Jännite- ja virtamuuntajien aiheuttamia virheitä on kuitenkin vaikea arvioida ilman tarkkoja sähköasemakohtaisia mittaustietoja. Lisäksi mittamuuntajien vaihtaminen ei todennäköisesti olisi teknis-taloudellisesti järkevää.

5.5.2 Tiedonsiirtovirheet

Käytettäessä laskentatuloksen siirtoa mA-viestinä ja Landis+Gyr ala-asemaa tiedonsiirrossa oli havaittavissa viiveitä ja siirtovirheitä. Vastaavia ongelmia ei havaittu Netcontrol Oy:n ala-asemien kanssa. Landis+Gyr:n ala-asemat ovat kuitenkin poistumassa käytöstä, joten tämä ongelma tulee poistumaan niin sanotusti itsestään.

Tiedonsiirtovirheeksi voidaan ajatella myös SCADA:n vikapakettien muodostamisessa mahdollisesti tapahtuvat virheet. Laskentapisteen ollessa syöttökentässä laskentatuloksen ja vikaantuneen katkaisijan yhdistäminen tapahtuu aikaperustaisesti. Ylimääräiset katkaisijatoiminnot sopivalla ajanhetkellä mahdollistavat (ei-toivottujen) ylimääräisten vikapakettien muodostamisen.

5.5.3 Verkostotietovirheet

Johdintietojen paikkansapitävyys vaikuttaa vianpaikannuksen tarkkuuteen. Tekla DMS:ssä johtojen mallinnukseen käytettävät sähköiset suureet tulevat johdintyyppin mukaisesti. KSOY-V:llä tällöin käytössä on kunkin yksittäisen johdintyyppin valmistajalta saadut sähköiset suoritearvot.

Ilmajohtoverkolla reaktanssi on kuitenkin pitkälti riippuvainen asennustavasta. Valmistajalta saadut tiedot on muodostettu käyttäen tiettyä referenssiasennustapaa. Mikäli johdon asennustapa eroaa valmistajan käyttämästä referenssistä, on johdon todellinen reaktanssi eri kuin DMS:n verkkomallissa käytössä oleva.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tutkimuskohteena oli niin sanottuun reaktanssimenetelmään perustuva automaattinen vianpaikannusjärjestelmä. Työlle asetettiin kaksi erillistä tavoitetta.

Työn ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää KSOY-V:llä jo käytössä olleen automaattisen vianpaikannusjärjestelmän järjestelmäkomponenttien tarjoamat mahdollisuudet siirtä käyttämään VAMP 255 suojareleiden tarjoamaa reaktanssimenetelmään perustuvaa paikannusalgoritmia. Toisena tavoitteena oli toteuttaa järjestelmän käyttöönotto, niin hyvin kuin se käytössä olleiden resurssien puitteissa oli mahdollista.

Opinnäytetyö onnistui tavoitteiden mukaisesti. Tuloksena saatiin käyttöönotettua VAMP 255:n oikosulkuvikojen paikannusalgoritmiin perustava automaattinen vianpaikannusjärjestelmä kaikille niille KSOY-V:n sähköasemille, joille oli aloitushetkellä asennettu tarpeelliset laitteistokomponentit.

Riippuen jakeluverkon kehitystoimista, tulevaisuudessa saattaa olla myös mielekästä laajentaa automaattinen vianpaikannusjärjestelmä hyödyntämään maastokatkaisijoilta saatavia paikannustietoja. Järjestelmän laajennus on mahdollista toteuttaa hyödyntäen tämän opinnäytetyön aikana kerättyä informaatiota.

Käyttökokemusten kertyessä automaattisen vianpaikannuksen toimivuudesta on mahdollista arvioida järjestelmäkokonaisuuden suorituskykyä kokonaisvaltaisesti, ja päättää mikäli tässä työssä esitettyjä luotettavuuteen vaikuttavia asioita on syytä tutkia tarkemmin. Todennäköisesti verkostotietojen oikeellisuuden varmentaminen olisi järkevää tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- Ahponen, P. & Ruissalmi K. 2006. Nematic Switch Statistics (NSS) Manual. Käyttöohje. Netcontrol Oy. Ei saatavilla julkisesti. Luettu 23.4.2014.
- Aura, L. & Tonteri, A. J. 1993. Sähkölaitostekniikka. 1. painos. Porvoo: Werner Söderström Osakeyhtiö.
- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot I. Järjestelmäteknikka ja sähköverkon laskenta. 1. painos. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press Oy.
- FLOC Fault locator. 2005. 1MRS755454. Käyttöohje. ABB Oy. Ei saatavilla julkisesti. Luettu 2.2.2014.
- Hänninen, S., Lehtonen, M., Sauna-aho, S. & Vähämäki, O. 2005. A New Technique for Short Circuit Fault Location in Distribution Networks. Conference paper. CIRED 18th International Conference on Electricity Distribution 6.-9.6.2005. Torino.
- Kankaanpää, J. 2005. VAMP Reference. Novel short-circuit fault location method used in feeder managers. VAMP Oy.
- Kuru, J. & Wahlroos W. 2003. Xpower DMS - Transfer of Fault Location Data via EL-COM. Technical description. Tekla Oyj. Ei saatavilla julkisesti. Luettu 23.4.2014.
- Kymenlaakson Sähkö Oy. 2013. Yhtiöesittely. Ei saatavilla julkisesti. Luettu 9.3.2014.
- Kymenlaakson Sähkö Oy. 2013. Toimintaohje 4.1-1. Ei saatavilla julkisesti. Luettu 9.3.2014.
- Kymenlaakson Sähkö Oy. 2013. Vuosikertomus. Luettu 25.4.2014.
http://issuu.com/sele10/docs/vk2013_suo
- Lakervi, E & Partanen, J. 2008. Sähkönjakeluteknikka. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press Oy.
- Pöyhönen, O. W. (toim.) 1977. Sähkötekniikan käsikirja 2. 4. uudistettu painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Saha, M., Izykowski, J. & Rosolowski, E. 2010. Fault Location on Power Networks. Lontoo: Springer-Verlag London Limited.
- Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588.
- TEKLA DMS. 2012. System User's Guide. Käyttöohje. Tekla Oyj. Ei saatavilla julkisesti. Luettu 23.4.2014.
- TEKLA Power System Analysis. 2012. Theory Guide. Käyttöohje. Tekla Oyj. Ei saatavilla julkisesti. Luettu 23.4.2014.
- TEKLA Xpower DMS 6.50. 2007. Käyttäjäkoulutus. Luentomateriaali. Tekla Oyj. Ei saatavilla julkisesti. Luettu 23.4.2014.

TEM. 2014. Työ- ja elinkeinoministeriö. Sähköverkkotoiminta. Luettu 23.4.2014. <http://www.tem.fi/energia/sahkomarkkinat/sahkoverkkotoiminta>

VAMP 255. 2013. Johtolähdön ja moottorin suojaterminaali. Tuotekuva. VAMP Oy. Katsottu 29.12.2013. <http://www-fi.vamp.fi/Product%20Images/Relays/VAMP255.jpg>

VAMP 255, VAMP 230. 2014. Feeder and Motor Manager. Käyttöohje. Schneider Electric SA. Luettu 23.4.2014. http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=396878929&p_File_Name=V255_EN_M_A028.pdf

VAMP Application Note. 2012. How to Configure Short Circuit Fault Locator. Käyttöohje. VAMP Oy. Luettu 27.8.2013. <http://www-fi.vamp.fi/Technical papers/Application notes/English/ANGEN.EN011 How to configure short circuit fault locator.pdf>

VAMP Feeder Brochure. N.d. 230/245/255/257 Series. Tuote-esite. VAMP Oy. Luettu 5.9.2013. <http://www-fi.vamp.fi/Brochures/English/VB257.EN009.pdf>